



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Agostinho Macedo Macedo

**Automação e integração de equipamentos
na indústria cerâmica**

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)

Rui Manuel Alves da Silva e Sousa

Setembro de 2017

DECLARAÇÃO

Nome:

Agostinho Macedo Macedo

Endereço eletrónico: agostinhomacedo2@gmail.com Telefone: 939798990 / 253921089

Número do Bilhete de Identidade: 8213672

Título da dissertação:

Automação e integração de equipamentos na indústria cerâmica

Orientador(es):

Rui Manuel Alves da Silva e Sousa

Ano de conclusão: 2017

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS
PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO
INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, 01/10/2016



AGRADECIMENTOS

A todos os colaboradores da empresa, incansáveis para me acompanharem neste projeto e sem os quais nunca seria possível desenvolver e concretizar o trabalho, o meu agradecimento pela paciência que sempre demonstraram.

Ao meu orientador, o Professor Rui Sousa pela sua disponibilidade, abertura e experiência, à Dra. Teresa Monteiro que me incentivou a percorrer este caminho e também ao meu antigo professor, Dr. Carmo Silva, pelas suas palavras de incentivo, sempre tão gratificantes e agradáveis de ouvir. De um modo geral à Universidade do Minho, a minha universidade, por esta oportunidade para concluir a tese de Mestrado, os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus familiares, particularmente aos meus filhos e à minha mulher, uma palavra especial pela paciência que demonstraram pelas longas horas de ausência, inicialmente no desenvolvimento do projeto e depois a escrever a dissertação. Sempre que posso tento recompensa-los. À minha mãe e à minha irmã, que sempre demonstraram total confiança no meu trabalho e nas minhas ideias, sem as quais nunca seria possível avançar com o projeto. Finalmente ao meu querido pai, referência em tantos aspetos da minha vida, a satisfação de ter a certeza de que sempre tentei fazer o melhor pela empresa. Se estivesse presente, sei que ficaria satisfeito por mais este passo e pelo retorno ao fabrico de abobadilha quase 30 anos depois, ideia que tivemos oportunidade de partilhar em longas conversas sobre a empresa.

RESUMO

A presente dissertação descreve a realização de um projeto de automação de uma nova linha de produção numa indústria de cerâmica e respetiva integração no atual processo industrial. Focado nas operações de movimentação e manipulação automática de peças cerâmicas dentro do espaço fabril, o objetivo principal é preparar a empresa para a produção de um novo produto cerâmico, aumentar a flexibilidade e diversificar a oferta no mercado.

Partindo assim de uma necessidade estratégica da empresa, foi estudada e desenvolvida uma solução para dotar a cerâmica com a capacidade de fabricar abobadilha, peças distintas do tijolo tradicional de furação horizontal, que absorve a totalidade da capacidade de produção instalada. Possuindo uma geometria mais complicada, uma menor resistência mecânica e obrigando a uma disposição totalmente distinta no processo de cozedura, foi necessário estudar e introduzir novos processos, materializados em duas linhas de produção para efetuar a manipulação dos materiais, antes e depois do forno.

A solução encontrada, compatível financeiramente com as capacidades da empresa, foi o resultado do conhecimento sobre a tecnologia cerâmica e das soluções mecânicas apresentadas, juntamente com o desenvolvimento dos sistemas de automação responsáveis pelo funcionamento e integração dos diferentes equipamentos que constituem cada uma das linhas. Ambos os sistemas são controlados por uma aplicação de supervisão, desenvolvida especialmente para este trabalho e baseada nos conceitos da indústria 4.0, proporcionando uma integração automática da informação gerada em todo o processo industrial e diminuindo a distância entre os campos tradicionalmente separados da tecnologia de informação (TI) e da tecnologia operacional (TO). Desenvolvido em ambiente Windows e executado num servidor web instalado num computador da empresa ligado à rede de autómatos, o sistema permite acompanhar graficamente e visualizar a evolução do processo em tempo real, assim como interagir com as linhas de produção, a partir de um browser instalado em qualquer computador com ligação à internet. O armazenamento de toda a informação crítica associada ao processo e o controlo da produção automático é efetuado com o recurso a uma base de dados SQL, integrada e controlada pela aplicação de supervisão em função das necessidades e da evolução do processo.

O trabalho desenvolvido resultou numa alteração profunda no sistema de fabrico de abobadilha e consequentemente no ciclo de trabalho semanal da empresa, com implicações substanciais na qualidade do produto, refletida nas quebras cuja diminuição foi superior a 50%, mas também no aumento da capacidade instalada que passou das 280 toneladas/semana, limite imposto por um conjunto de restrições associadas ao processo antigo, para as 1000 toneladas/semana.

PALAVRAS-CHAVE

Cerâmica de barro vermelho · Automação industrial · Integração industrial · Projeto de máquinas · PLC (*Controlador Lógico Programável / Autómato*) · SCADA (*Sistemas de supervisão e aquisição de dados*) · HMI (*Dispositivos de interface homem máquina*) · Bases de dados · Datalogger

ABSTRACT

This dissertation is about the realization of an automation project of a new production line in the ceramics industry and respective integration in the current manufacturing process. Focused on handling operations of ceramic parts in the shop floor, the main objective is to prepare the company to produce a new ceramic product and to increase flexibility and diversity of supply in the market.

Triggered off by a strategic need of the company, a solution to provide the firm with the ability to manufacture floor clay blocks, distinct parts of the traditional wall brick which absorbs all the installed production capacity, has been studied and developed. Having a more complicated geometry, a smaller mechanical resistance, besides forcing to a completely distinct material arrangement in the kiln process, it became mandatory to study and introduce new processes, materialized in two distinct production lines, before and after the kiln, with different devices capable of manipulating the material.

The solution, financially compatible with the capabilities of the company, aroused from the knowledge of ceramic technology and the presented mechanical solutions, along with the development of automation systems responsible for the operation and integration of the different devices that make up each of the lines. Both systems are controlled by a supervisory application, developed especially for this work and based on the concepts of industry 4.0, providing automatic integration of information generated throughout the manufacturing process and reducing the distance between the fields of information technology (IT) and operational technology (OT), traditionally separate. Developed in Windows environment and run on a web server, installed on a company computer connected to the PLC network, the system allows to follow graphically and visualize the evolution of the process in real time, as well as interact with the production lines from a browser installed on any computer with an internet connection. The storage of all critical information associated with the process and the automated production control is performed with the use of an SQL database, integrated and controlled by the supervision application, depending on the needs and the evolution of the process.

The work resulted in a significant change in the manufacturing floor clay blocks process and consequently affect the weekly working cycle, with substantial implications in the quality of the product, reflected in the defected rate products whose reduction was greater than 50%, and increase in capacity from 280 tons/week limit, imposed by a set of constraints associated with the old process, to 1000 tons/week.

KEYWORDS

Brick red clay industry · Industrial automation · Industrial integration · Machinery design · PLC (Programmable logic controllers) · SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) · HMI (Human Machine Interface) · Database · Datalogger

ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	ix
Índice.....	xi
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas.....	xxi
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos	xxiii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de investigação	4
1.4 Estrutura do relatório	4
2. Estado da arte	7
2.1 Sensores	8
2.1.1 Sensor de contacto ou fim de curso	9
2.1.2 Sensor indutivo	9
2.1.3 Sensor magnético	10
2.1.4 Sensores óticos (célula fotoelétricas).....	10
2.1.5 Encoders.....	11
2.2 Atuadores.....	12
2.2.1 Atuadores pneumáticos	12
2.2.2 Atuadores hidráulicos	14
2.2.3 Atuadores elétricos.....	14
2.3 Controladores lógicos programáveis (PLC) ou Autómatos.....	16
2.4 Comunicações, redes e OPC.....	19
2.5 Programação IEC61131-3	20
2.6 Human Machine Interface (HMI).....	23
2.7 Sistema de supervisão (SCADA)	25
2.8 Indústria 4.0 e tendências	27

3.	Apresentação da empresa.....	31
3.1	A evolução da automação na empresa.....	32
3.2	Descrição do processo produtivo.....	33
3.3	A importância da automação no processo produtivo.....	36
3.4	O contexto que conduziu à necessidade de um novo sistema para a produção de abobadilha.....	37
3.5	Limitações do fabrico da abobadilha antes do projeto e números da produção	38
3.6	A necessidade de um novo projeto	39
4.	Projeto	41
4.1	Requisitos e exigências técnicas do projeto	41
4.2	Apresentação e descrição do projeto	43
4.3	Layout da linha de enfora de abobadilha.....	47
4.4	Layout da linha de desenfora de abobadilha	50
4.5	Projeto mecânico (cálculo de velocidades e forças).....	53
4.5.1	Mesa de rolos com tope e agrupador lateral M1R	54
4.5.2	Mesa de correntes M2C e virador VIR	55
4.5.3	Mesa de correntes M3C e mesa de rolos elevatória M3R	57
4.5.4	Mesa de rolos com tope M4R	59
4.5.5	Mesa de rolos M5R.....	60
4.5.6	Transportador de guincho	61
4.6	Projeto elétrico.....	62
4.7	Automação industrial do processo.....	67
4.7.1	Listagem de pontos de entrada e saída.....	68
4.7.2	Encoders e contadores de impulsos – cálculo e seleção	69
4.7.3	Secções e organização dos programas	71
4.7.4	Controlo da produção.....	72
4.7.5	Técnicas da programação de acionamentos	72
4.7.6	Transferência de programas	75
4.7.7	Estrutura da programação do PLC da enfora.....	76
4.7.8	Estrutura da programação do PLC da desenfora.....	80
4.8	Entrada de dados (HMI)	88
4.9	Aplicação de supervisão e controlo automático da produção.....	90

4.10 Implementação e arranque das linhas de abobadilha.....	99
5. Análise de resultados	103
6. Conclusões e trabalhos futuros	107
Bibliografia.....	109
ANEXO I - Desenhos de projeto mecânico	113
I.1 Enforna de abobadilha (vista superior / layout)	114
I.2. Enforna de abobadilha (vista lateral)	115
I.3 Enforna de abobadilha (vista frente)	116
I.4 Estrutura das mesas da enforna de abobadilha (vista superior)	117
I.5 Estrutura das mesas da enforna de abobadilha (vista frente)	118
I.6 Estrutura das mesas de enforna de abobadilha (vista lateral).....	119
I.7 Mesa de rolos M1R com tope e agrupador lateral (vista superior)	120
I.8 Mesa de rolos M1R com tope e agrupador lateral (vista lateral)	121
I.9 Mesa de rolos M1R com tope e agrupador lateral (vista frente).....	122
I.10 Mesa de correntes M2C (apoio das correntes de transporte)	123
I.11 Virador VIR na mesa de correntes M2C	124
I.12 Veio de trás da mesa de correntes M2C	125
I.13 Veio intermédio das correntes das mesas M2C e M3C	126
I.14 Apoio das correntes de transporte da mesa M3C	127
I.15 Veio da frente das correntes da mesa M3C	128
I.16 Mesa de rolos elevatória M3R	129
I.17 Mesa de rolos com tope M4R	130
I.18 Mesa de rolos M5R	131
I.19 Movimentação de vagonas na enforna de abobadilha.....	132
I.20 Guincho pequeno a via 3 GPV3 da enforna de abobadilha.....	133
I.21 Impulsor hidráulico da enforna de abobadilha	136
I.22 Movimentação de vagonas na desenforna de abobadilha	137
I.23 Impulsor hidráulico 2 da desenforna de abobadilha.....	138
ANEXO II - Esquema elétrico da enforna de abobadilha	139
II.1 Listagem de entradas e saídas	140
II.2 Quadro principal	143
II.3 Quadro consola	147
ANEXO III - Esquema elétrico da desenforna de abobadilha	152

III.1 Listagem de entradas e saídas.....	153
III.2 Quadro principal de tijolo (sistemas comuns ao tijolo e à abobadilha).....	159
III.3 Quadro principal de abobadilha.....	161
III.4 Quadro consola 1 de abobadilha.....	165
III.5 Quadro consola 2 de abobadilha.....	168
ANEXO IV - Programa do PLC da enfora de abobadilha	172
IV.1 Mapa de cartas do PLC	173
IV.2 Estrutura de secções do programa do PLC.....	174
IV.3 Variáveis do PLC	175
IV.4. DFBs (Derived Function Blocks).....	178
IV.5 Cópias de entradas.....	179
IV.6 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC1	181
IV.7 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC2.....	182
IV.8 Transferência de valores das entradas de dados para o PLC.....	183
IV.9 Gestão de programas (1) – Carregamento do programa no PLC	185
IV.10 Gestão de programas (2) - Atualização de programa temporário	186
IV.11 Condições de permissão de trabalho	187
IV.12 Sistema (1).....	188
IV.13 Sistema (2).....	189
IV.14 Mesas de alimentação.....	190
IV.15 Mesas de alimentação – Sequência automática.....	192
IV.16 Programação do piso de entrada (1)	193
IV.17 Programação do piso de entrada (2)	194
IV.18 Programação das mesas de alinhamento do piso da vagona (1).....	197
IV.19 Programação das mesas de alinhamento do piso da vagona (2).....	198
IV.20 Programação pinças da enfora de abobadilha (1).....	199
IV.21 Programação pinças da enfora de abobadilha (2).....	200
IV.22 Transportadores da via 3	202
IV.23 Controlo da produção (1)	203
IV.24 Controlo da produção (2)	204
IV.25 Sinalizações	205
ANEXO V - Programa do PLC da desenfora de abobadilha	206
V.1 Mapa de cartas do PLC.....	207

V.2 Estrutura de secções do programa do PLC	208
V.3 Variáveis do PLC.....	209
V.4 DFBs (Derived Function Blocks)	212
V.5 Cópias de entradas (1)	213
V.6 Cópias de entradas (2)	214
V.7 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC1	215
V.8 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC2	216
V.9 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC3	217
V.10 Transferência de valores das entradas de dados para o PLC	218
V.11 Gestão de programas (1) – Carregamento do programa no PLC.....	220
V.12 Gestão de programas de materiais (2) - Atualização de programa temporário	221
V.13 Condições de permissão de trabalho.....	222
V.14 Sistema.....	224
V.15 Programação pinças da desenforma de abobadilha (1).....	225
V.16 Programação pinças da desenforma de abobadilha (2).....	226
V.17 Mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos	227
V.18 Sequências automáticas mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos (1)	228
V.19 Sequências automáticas mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos (2)	229
V.20 Sequências automáticas mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos (3)	230
V.21 Programação de fiadas e pisos	231
V.22 Pinça intercalar	237
V.23 Mesa de barras M7B e estações	238
V.24 Mesa de barras M7B e estações (1)	239
V.25 Programação pinças de paletização de abobadilha (1)	240
V.26 Programação pinças de paletização de abobadilha (2)	241
V.27 Mesas de movimentação de paletes de abobadilha.....	243
V.28 Programação de mesas de movimentação de paletes de abobadilha (1)	244
V.29 Programação de mesas de movimentação de paletes de abobadilha (2)	245
V.30 Transportadores finais da via 6.....	246
V.31 Controlo da produção (1).....	247
V.32 Controlo da produção (2).....	250
V.33 Sinalizações	252
ANEXO VI - DFBs utilizados (Derived function blocks)	253

VI.1 Intermitentes	254
VI.2 ONOFF1BIT	255

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fim de curso de 2 contactos da Telemecanique	9
Figura 2: Detetor indutivo da Turck.....	10
Figura 3: Detetores magnéticos acoplados a um cilindro pneumático	10
Figura 4: Sensores óticos da Turck.	11
Figura 5: Encoder incremental Lika.....	12
Figura 6: Eletroválvulas pneumáticas	12
Figura 7: Atuador / cilindro pneumático	13
Figura 8: Bomba de vácuo	13
Figura 9: Centralina hidráulica.....	14
Figura 10: Componentes de um sistema de controlo de movimento com servomotor	16
Figura 11: Servomotor linear	16
Figura 12: Diagrama de componentes de um PLC	17
Figura 13: Amostra de programa em Ladder	21
Figura 14: Amostra de Function Block Diagram	21
Figura 15: Amostra de programa em Instruction list	22
Figura 16: Amostra de programa em Texto Estruturado.....	22
Figura 17: Amostra de programa em SFC	23
Figura 18: Consola HMI Beijer Eletronics	25
Figura 19: A 4ª Revolução Industrial - Indústria 4.0	28
Figura 20: Organigrama	31
Figura 21: Layout geral	32
Figura 22: Fluxograma do processo produtivo	34
Figura 23: Vagona do forno com 2 estivas (enforna com peças deitadas ou na horizontal)....	38
Figura 24: Vagona do forno com 2 estivas (enforna com peças ao alto em pacotes)	42
Figura 25: Vagona do forno com 2 estivas (enforna com peças ao alto e pisos a toda a largura com travamento em espinha).....	43
Figura 26: Pisos à saída da estante dos secadores	44
Figura 27: Pisos à entrada do virador	44
Figura 28: Pisos de entrada após rotação das peças	45
Figura 29: Piso da vagona antes da enforna	45
Figura 30: Estiva da vagona do forno (modelos de abobadilha de 32 e 40)	45

Figura 31: Piso da vagona desenformado (modelos de abobadilha de 32 e 40)	46
Figura 32: Pisos da palete.....	46
Figura 33: Paletes finais na linha da desenforna	46
Figura 34: Enforna de abobadilha (vista superior - layout)	47
Figura 35: Enforna de abobadilha	48
Figura 36: Diagrama de operações de movimentação na linha da enforna.....	49
Figura 37: Desenforna de abobadilha (vista superior - layout)	50
Figura 38: Desenforna de abobadilha.....	51
Figura 39: Diagrama de operações de movimentação na linha da desenforna	52
Figura 40: Mesa de rolos M1R.....	55
Figura 41: Mesa de correntes M2C e Virador VIR.....	56
Figura 42: Mesa de correntes M3C	58
Figura 43: Sistema de elevação da mesa de rolos M3R.....	59
Figura 44: Mesa de rolos M3R.....	59
Figura 45: Mesa de rolos M4R.....	60
Figura 46: Mesa de rolos M5R.....	61
Figura 47: Guincho reversível pequeno da via 3.....	61
Figura 48: Esquema elétrico / Variador de frequência da pinça de translação – enforna de abobadilha	63
Figura 49: Esquema elétrico / Comandos no quadro de consola – enforna de abobadilha.....	64
Figura 50: Interior dos quadros elétricos - desenforna de abobadilha	65
Figura 51: Ligações elétricas de uma carta de contagem rápida (ligação de encoders).....	66
Figura 52: Listagem de pontos de entrada e saída	69
Figura 53: Montagem do encoder da mesa de rolos M5R da enforna	69
Figura 54: Acionamento dos rolos da mesa M1R	73
Figura 55: Eletroválvula de 2 posições e 5 vias de comando por solenoide.....	73
Figura 56: Acionamento da eletroválvula do tope da mesa M1R	74
Figura 57: Linguagem de contactos do acionamento da elevação da pinça da enforna a 2 velocidades	74
Figura 58: Texto estruturado acionamento elevação da pinça da enforna a 2 velocidades	75
Figura 59: Zonas de construção de fiadas e pisos para os 3 tipos de pisos possíveis	82
Figura 60: Estações de trabalho da mesa de barras M7B.....	83
Figura 61: Linha final de paletização	83
Figura 62:HMI Linha da enforna	89

Figura 63: HMI Linha da enfora	89
Figura 64: Página inicial da aplicação de supervisão.....	92
Figura 65: Página de gestão de materiais	93
Figura 66: Páginas de entrada de dados simples	94
Figura 67: Transferências de programas de materiais (receitas) entre o PLC e base de dados	95
Figura 68: Páginas de entrada de dados com ligação às tabelas na base de dados SQL.....	96
Figura 69: Página da linha da enfora (layout animado)	97
Figura 70: Página da linha da desenfora (layout animado)	98
Figura 71: Página de produção da desenfora	99
Figura 72: Imagens da Linha da enfora de abobadilha	100
Figura 73: Imagens da Linha da desenfora de abobadilha	101
Figura 74: Gráfico 1 (Vendas em toneladas de material cozido)	104
Figura 75: Gráfico 2 (Vendas em euros)	105
Figura 76: Gráfico 3 (Preço de venda médio em euros por tonelada).....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vendas anuais de tijolo e abobadilha em toneladas de material cozido.....	38
Tabela 2: Precisão de encoders e contadores de pulsos	70
Tabela 3: Tempos entre pulsos nos contadores	71
Tabela 4: Lista de variáveis para programas de materiais na enfora de abobadilha	76
Tabela 5: Lista de variáveis para programas de materiais na desenfora de abobadilha.....	80
Tabela 6: Valores de produção de abobadilha em toneladas de material cozido	103

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CI	Critical Infrastructures
CNC	Computer Numerical Control
CPS	Cyber-Physical Systems
CPPS	Cyber-Physical Production System
DCS	Distributed Control System
FBD	Function Block Diagram
GRAFCET	Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition
HMI	Human Machine Interface
HSC	High Speed Counter
IIoT	Industrial Internet of Things
IEC	International Electrotechnical Commission
IL	Instruction List
IoT	Internet of Things
IIoT	Industrial Internet of Things
IT	Information Technology
ODBC	Open Database Connectivity
OPC	Open Platform Communications
OPC DA	OPC Data Access
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
OT	Operational Technology
PID	Proportional-Integral-Derivative controller
PLC	Programmable logic controllers / Autómatos
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SFC	Sequential Flow Chart
SQL	Structured Query Language
ST	Structured Text

1. INTRODUÇÃO

A automação industrial em ambientes produtivos é um fator determinante para as empresas atingirem os seus objetivos no que respeita à eficiência de processos e níveis de produtividade. É possível encontrar diferentes formas de automação, consoante os processos em causa e os tipos de variáveis a controlar. Seja no controlo de uma variável de processo associada a uma operação de transformação (temperatura, humidade, pressão, etc), ou na movimentação de materiais (posição, velocidade, binário, etc), a automação está indissociavelmente ligada à indústria, tal como a conhecemos atualmente. É um facto que a generalidade dos processos industrializados requer, nos dias de hoje, um elevado grau de automação para tornar viável a sua atividade.

Na cerâmica estrutural, ambiente onde se realiza o trabalho, caracterizada pela produção em massa ou de grandes séries segundo a classificação apresentada por (Carvalho, 2003) e (Silva, 2006), e com uma implantação em linha de produção, segundo (Chase e Aquilano, 1995), o grau de automação é um fator crítico para garantir a resposta do sistema produtivo aos elevados volumes de produção. O fluxo de materiais ao longo do espaço fabril, nomeadamente nas operações de carga das estantes do secador, e nas operações intercalares de enfora e desenfora com paletização, implica a movimentação de milhares de peças por hora. Os principais equipamentos térmicos, secador e forno, requerem equipamentos auxiliares (estantes do secador e vagonas do forno) que também precisam de ser movimentados no espaço fabril. A natureza dos processos térmicos obriga a um posicionamento específico das peças, o que implica operações adicionais por forma a assegurar o seu agrupamento, espaçamento, e empilhamento adequados. A fragilidade intrínseca associada ao material cerâmico, essencialmente no estado verde e seco, também coloca limitações adicionais às operações de manipulação. Todos estes fatores condicionam os equipamentos responsáveis pela manipulação e movimentação de peças e têm de ser considerados, quer no desenho das soluções mecânicas como no projeto de automação, que conjuntamente definem o funcionamento dos vários equipamentos que compõem cada linha de movimentação.

O impacto da alteração do material nas linhas de produção, provocado pelos ajustamentos das máquinas e respetivos tempos de preparação (*setups*), pode ser reduzido desde que os sistemas sejam concebidos para lidar de forma automática com as mudanças necessárias. Esta flexibilidade de processos exige uma conceção e programação de sistemas orientada para responder a estes aspetos desde o início, em muitos casos desenvolvida em conjunto com as soluções mecânicas.

Na cerâmica estrutural, denominação que abrange a produção de tijolo, abobadilha e telha, devido aos inúmeros processos que decorrem em contínuo e em simultâneo, a supervisão assume um papel determinante no controlo da produção. Para evitar a existência de diferentes programas a controlar diferentes processos, é desejável a existência de uma plataforma comum onde seja possível integrar e visualizar a informação associada às várias etapas ou fases do processo de fabrico. Os grandes fornecedores de maquinaria para a indústria cerâmica acabam também por fornecer os serviços de automação e em última instância os programas de supervisão. Como tal, as soluções apresentadas estão bastante longe dos mais recentes desenvolvimentos nas áreas de tecnologias de informação. A rigidez dos sistemas e alguma inércia das cerâmicas resultam em soluções que ficam desatualizadas ao fim de pouco tempo, porque muitas vezes não é possível atualizar os sistemas de supervisão em função das alterações, cada vez mais frequentes, introduzidas nos processos de fabrico.

É neste contexto, que se justifica o desenvolvimento de soluções de supervisão, baseadas nas mais recentes tecnologias de software, que beneficiam da enorme evolução que atualmente possuem as tecnologias de informação associadas à indústria 4.0. A internet, as bases de dados relacionais (SQL) e a facilidade de comunicação entre os vários dispositivos industriais com base nas redes Ethernet TCP/IP, estão a transformar profundamente o panorama industrial, assim como os tradicionais sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). A abertura do programa para comunicar com outras plataformas e a facilidade para introduzir alterações, por forma a responder às frequentes alterações verificadas nos processos industriais, são também fatores importantes na escolha e no desenvolvimento de uma solução para a supervisão.

1.1 Enquadramento

Caracterizada como uma indústria de capital intensivo, a cerâmica estrutural foi perdendo capacidade de investimento ao longo da última década, à medida que a crise da construção civil se foi agravando. O tecido industrial é constituído por unidades mono produtos, desenhadas para atingir elevados níveis de produtividade, numa altura em que a procura de material ultrapassava largamente a oferta. Com a diminuição das vendas, aumentou a dificuldade das empresas em colocar a sua produção, num mercado cada vez mais pequeno, e a maioria acabou mesmo por encerrar a sua atividade. As restantes optaram por reduzir a sua produção, diminuindo turnos e efetuando paragens prolongadas por forma a tentar atingir o equilíbrio financeiro. Atualmente, a grande maioria das unidades trabalham a pouco mais de 50% da sua capacidade e sobrevivem apoiadas em cogerações financiadas pelo estado ao abrigo de acordos anteriores a 2010, ou então pertencem a grupos económicos com alguma dimensão e que asseguram uma retaguarda financeira com capacidade para resistir à conjuntura atual.

Com a perspetiva pouco animadora da evolução do mercado da construção civil, a maioria das cerâmicas enfrenta um dilema de difícil resolução. Deixaram de ter acesso ao capital necessário para grandes investimentos, como sucedeu no passado, e por essa via conseguir a modernização para operar a transformação de processos absolutamente necessária para fazer face aos desafios futuros. No entanto, existe a consciência por parte dos empresários de que esta situação não se pode prolongar indefinidamente, sob pena de colocar em causa a sobrevivência das empresas a longo prazo.

No caso da Cerâmica Amaro de Macedo, sem cogeração e sendo uma unidade de cariz familiar, a Administração percebeu que dificilmente conseguiria sobreviver exclusivamente com o fabrico de tijolo, num contexto tão desfavorável e onde o preço acaba por ser o maior fator de diferenciação. Ficou decidido que o futuro da firma passaria por incorporar a abobadilha no seu processo industrial, o que obrigaria a um esforço no sentido de aumentar a flexibilidade de processos sem colocar em causa a produção de tijolo e os níveis de produtividade necessários para assegurar a competitividade em ambos os mercados. É uma estratégia que faz sentido, na medida que permite rentabilizar uma grande parte dos meios de produção, mas com um grau de dificuldade elevado, não só pelo risco em termos financeiros associados a um investimento desta dimensão na conjuntura atual, mas também pelas dificuldades técnicas que é preciso ultrapassar para se atingir os níveis de produtividade necessários para rentabilizar todo o investimento. Não é por acaso que o mercado sempre se segmentou em unidades mono produtos. Seguramente, apenas com uma solução bem estudada e com um processo industrial bastante flexível e automatizado, assente nos mais recentes meios tecnológicos é que será possível gerir a produção de ambos os produtos no mesmo espaço fabril.

Foram dois os fatores determinantes que abriram a possibilidade para a empresa avançar com o investimento: o facto do processo de cozedura e secagem estarem totalmente automatizados e informatizados, potenciando a flexibilidade necessária para conjugar a produção de tijolo e abobadilha sem grande dificuldade, apesar das diferenças que se verificam nesses processos térmicos provocados pela diferença de massas de enfora e pela diferente disposição dos materiais na cozedura; a experiência e conhecimento acumulados no setor da cerâmica e da automação industrial por parte dos quadros da empresa, permitiu viabilizar o projeto e assim equilibrar o esforço financeiro com as possibilidades atuais da cerâmica.

O único caminho possível para avançar passaria sempre pela compra de algum equipamento usado, aproveitando o encerramento de unidades industriais que se verificou nos últimos anos, e conceber um projeto inteiramente novo, adaptado às necessidades concretas da empresa. É num contexto de grande dificuldade, com uma queda nas vendas do tijolo entre 2010 e 2014 superior a 50% e sem perspetivas de voltar a recuperar esses valores, que se decide avançar para a diversificação da produção.

Esta dissertação diz respeito a esse trabalho, o qual representa a primeira etapa na sequência de uma estratégia definida pela empresa e que consiste na transformação do processo de fabrico para acomodar a produção de abobadilha em paralelo com o fabrico do tijolo de furação horizontal.

Conhecendo a empresa, as dificuldades do setor e do mercado da construção, a produção de tijolo e abobadilha na mesma unidade industrial representa a melhor alternativa para garantir a viabilidade financeira a longo prazo. As alternativas, permanecer exclusivamente no tijolo e apostar unicamente em grandes volumes de produção, ou manter a situação atual e continuar com o tijolo como produto principal e quando muito fabricar alguma abobadilha, de forma pouco eficiente, com pouca qualidade e elevada taxa de quebras, são insuficientes para assegurar o futuro da empresa.

Ao passar parte da capacidade de produção de tijolo para a abobadilha, que possui maior valor acrescentado derivado da existência de menos unidades industriais, de se tratar de um produto com maiores exigências de qualidade¹, e de estar mais associado à reconstrução de edifícios, a empresa ganha autonomia nas vendas em resultado do aumento da diversificação da oferta. Do ponto de vista comercial, cada cliente de tijolo é também um potencial cliente de abobadilha.

Todos estes argumentos conduzem para uma estratégia clara e que aponta necessariamente para a preparação do processo industrial no sentido de fabricar a abobadilha, segundo as melhores práticas do setor e sem prejudicar a produtividade no fabrico de tijolo.

1.2 Objetivos

Foi definido um conjunto de objetivos para o trabalho que envolve o estudo, automação e colocação em marcha de duas linhas de produção, responsáveis pelas operações de manipulação e movimentação das peças cerâmicas no espaço fabril, antes e depois do forno, concretamente na carga e descarga de vagons do forno, incluindo esta última a paletização e embalagem do produto final. O cumprimento desses objetivos apresentados a seguir, asseguram o sucesso do projeto e do investimento:

¹ Enquanto que o tijolo é certificado pelo sistema 4 de marcação CE, a abobadilha é certificada pelo sistema 2+, que implica um maior nível de exigência e obriga a uma auditoria anual.

- i. Redução das quebras na produção de abobadilha dos atuais 10% para um valor inferior a 5%;
- ii. Aumento da capacidade instalada da produção de abobadilha, atualmente limitada a 280 toneladas/semana² para as 1000 toneladas/semana, o que equivale a 200 toneladas/dia;
- iii. Desenvolver uma aplicação de supervisão para o controlo dos processos implementados na produção de abobadilha com controlo da produção integrado.

1.3 Metodologia de investigação

A Investigação-Ação é o método que mais se identifica com o perfil do trabalho apresentado, porque é uma metodologia de pesquisa essencialmente prática e aplicada que se rege pela necessidade de resolver problemas reais (Coutinho, et al., 2009).

Derivado da natureza do trabalho, a contínua pesquisa que aconteceu em paralelo com o desenvolvimento da aplicação à medida que os desafios se foram colocando, foi por excelência o método utilizado na investigação realizada ao longo do desenvolvimento do trabalho. Apesar de uma parte importante da pesquisa incidir sobre o estado da arte das tecnologias utilizadas no projeto, de uma forma geral tratou-se de um processo iterativo, que visou a procura de soluções para responder aos problemas que foram sendo colocados no caminho.

Do ponto de vista informal, a rede de contactos associada à vida profissional possui um papel importante no tipo de pesquisa efetuada. Uma simples conversa pode implicar por vezes uma mudança de rumo e reorientar a pesquisa numa direção diferente, com implicações no trabalho desenvolvido. Essa rede, formada por orientadores, professores, fornecedores, colegas de trabalho na mesma área de estudo, sejam eles engenheiros ou simples colaboradores, possui um papel muito importante na filtragem e na focalização da pesquisa. Num projeto como este, com uma forte componente aplicada, não se deve ignorar o facto de que muitos dos problemas que solucionamos também já foram estudados por outras pessoas. Mesmo em tecnologias distintas é possível encontrar problemas com soluções semelhantes onde é possível beber alguma informação.

1.4 Estrutura do relatório

Estruturalmente, esta dissertação está dividida em 6 capítulos.

Depois de definidos os objetivos e a motivação que levou à execução do projeto neste capítulo, o capítulo 2 expõe uma base teórica e apresenta o estado da arte na área de automação industrial e das suas especificidades relacionadas com a tecnologia cerâmica.

O capítulo 3 apresenta a empresa, um pouco da sua história no contexto da região e descrevem-se as principais etapas que constituem o processo de fabrico. O destaque da relação da empresa com a automação industrial justifica-se pelo tema da dissertação, mas também porque ajuda a compreender as limitações do processo industrial na estratégia comercial da empresa e o contexto que conduziu à execução de um novo projeto para responder a essas necessidades.

O capítulo 4 é dedicado exclusivamente à apresentação do projeto. Primeiro justifica-se a solução encontrada e expõem-se as condições de execução do projeto. A seguir apresentam-se

² Ao longo do texto, a produção em toneladas refere sempre a produção em toneladas de material cozido.

os *layouts* das linhas de carga e descarga e descrevem-se em detalhe as sequências de operações de movimentação que terão de ser realizadas sobre as peças em ambas as linhas. O resto do capítulo consiste numa apresentação do projeto nas suas vertentes de mecânica, eletricidade e eletrónica industrial, automação e informática.

A análise dos resultados é apresentada no capítulo 5.

Por fim, no capítulo 6 apresentam-se as conclusões, assim como algumas ideias para trabalhos que podem ser desenvolvidos no sentido de melhorar a empresa.

2. ESTADO DA ARTE

A automação industrial está continuamente em evolução. A inovação tecnológica obriga a um esforço constante na sua integração com as tecnologias existentes. Na última década, grande parte dessas inovações estiveram centradas nas tecnologias de informação, comunicação de dados e internet. Atualmente, as exigências ultrapassam largamente o campo da lógica de comando. Mesmo os fabricantes de máquinas, onde os controladores são programados para responder às necessidades de trabalho mais simples, sentem a necessidade de disponibilizar formas de integração para evitar a proliferação de ilhas isoladas em processos industriais. As necessidades de comunicação entre autómatos num mesmo processo, a comunicação com os sistemas de supervisão e o aproveitamento da informação gerada no espaço fabril em áreas como a gestão e controlo da produção, definem em grande parte a evolução da automação industrial.

A digitalização de processos é hoje uma realidade muito mais acessível. A tecnologia sensorial desenvolveu-se ao ponto de preencher a maior parte das necessidades da automação e controlo de processos. Do lado dos atuadores, mesmo em corrente alternada, os variadores de frequência vetoriais com placas de controlo adicionais integradas, permitem um controlo de posição e velocidade impensável há algum tempo. Os motores de passo (*step motor*) e os servomotores, sistemas que trabalham em malha fechada e muito utilizados nas máquinas ferramentas CNC (*Computer Numerical Control*), são hoje muito mais económicos e a sua utilização tende a generalizar-se e a concorrer com soluções tradicionais. A massificação das consolas HMI, que tanto beneficiaram da evolução tecnológica associada às plataformas móveis, e os programas de supervisão fazem parte da automação dos sistemas produtivos e são hoje componentes essenciais para se atingir a eficiência de processos e rentabilização de recursos. Os sistemas de visão no controlo de qualidade, há uns anos acessíveis apenas às grandes empresas, tendencialmente serão cada vez mais acessíveis às pequenas empresas, onde existe um mercado enorme de soluções por explorar. As *smart camaras*, sistemas de visão simplificados e parametrizáveis, onde o software corre na própria câmara, são soluções de baixo custo que já conseguem realizar tarefas importantes, ainda que de forma limitada, em situações particulares de controlo de qualidade. Num patamar intermédio, é possível conceber uma solução para uma situação em particular com base em *softwares* de programação que disponibilizam um conjunto de bibliotecas que preenchem muitas necessidades, e apenas em situações mais específicas é necessário avançar para soluções mais elaboradas e que envolvem o uso de programação para complementar o sistema de visão. Mesmo em *open source*, já existem projetos como o OpenCV (*Open Source Computer Vision*) que disponibilizam inúmeras bibliotecas em código C++, C, Python e Java, para desenvolver aplicações para os mais variados tipos de sistemas operativos e plataformas fixas ou móveis (OpenCV, 2016). Apesar de implicarem uma curva de aprendizagem mais longa, permitem desenvolver aplicações em ambientes GUI (*Graphics user interface*), como o Visual Studio ou o Eclipse.

Contudo, os autómatos, dispositivos essenciais que compõem qualquer sistema de automação, por estarem posicionados na primeira linha de controlo de processos, oferecem uma maior resistência à evolução e à incorporação de novas tecnologias. Na indústria, a fiabilidade no controlo de processos representa um valor muito importante e os fabricantes de *hardware* na área de automação atuam com especial cuidado na introdução de alterações em produtos com fiabilidade comprovada ao longo dos anos e que representam uma parte importante do seu negócio. Nos autómatos em particular, é muito frequente encontrar sistemas a trabalhar com dezenas de anos e que continuam a cumprir os requisitos para os quais foram instalados. A fiabilidade e durabilidade são características que contribuíram para o seu sucesso na indústria,

colocando-os na frente em relação a outras opções eventualmente mais avançadas, mas menos robustas. Os computadores industriais, apesar de existirem há vários anos, exemplificam bem esta situação, onde a sua maior capacidade de processamento, armazenamento e facilidade de integração nunca foram suficientes para colocar em causa os PLCs. Apesar de tudo, algumas marcas inovadoras como a Beckhoff ou Wago, que dão prioridade aos PCs embebidos e PCs industriais, possuem ofertas bastante interessantes e capazes de ultrapassar largamente as capacidades dos PLCs tradicionais.

A comunicação com os PLCs é hoje muito mais fácil e rápida com a introdução do protocolo TCP/IP na indústria. Praticamente todos os autómatos vêm com uma porta *Ethernet*, possuem um *mac address* atribuído de fábrica e a possibilidade de definir um endereço IP. O mesmo acontece com as consolas HMI, o que facilita a comunicação entre dispositivos e a sua integração com as redes *Ethernet*, onde também estão ligados os computadores das empresas. Essencialmente, desde que o MS Windows avançou para o espaço fabril e as redes *Ethernet* com TCP/IP começaram a dominar, a convergência entre os mundos tradicionalmente separados da tecnologia operacional (OT - *Operational Technology*) e da tecnologia informática (IT – *Information Technology*), assim denominados pelo (Gartner, 2011) e por outros grupos de consultadoria dedicados às áreas das tecnologias de informação, passou a ser uma realidade incontornável. A Indústria 4.0 e o conceito de Smart Factory (Fábrica Inteligente), juntamente com a IoT (Internet of Things) representam uma força importante na aceleração deste processo de integração.

No resto deste capítulo serão apresentados estes conceitos, em particular aqueles que possuem uma ligação mais direta com o trabalho desenvolvido e que desempenham um papel determinante na sua execução. Serão também referidas, sempre que se achar conveniente, outras tecnologias que apesar de não estarem contempladas diretamente no projeto, representam um papel importante na evolução futura da automação industrial.

2.1 Sensores

Os sensores são um elemento determinante em qualquer equipamento industrial. Como referem (Sousa & Moreira, 2008), a generalidade dos sensores transmite como saída um sinal de natureza elétrica em função de um estímulo de uma dada natureza. O seu papel é transmitir a informação sobre o estado do sistema ao centro de comando que pode ser o PLC ou o computador industrial.

A escolha do sensor mais adequado para uma aplicação é sempre uma decisão importante para o técnico ou engenheiro responsável pela especificação do sistema. A experiência é um fator determinante na decisão e os fornecedores de materiais elétricos podem representar um papel importante no processo de decisão.

Na cerâmica, apesar de alguma especificidade na sua utilização em função da tipologia de processos a controlar e das condições ambientais existentes, os sensores mais utilizados não variam muito quando comparados com outros processos industriais. Importa escolher o tipo de sensor mais adequado a cada situação em função da aplicação, e isso está em grande parte relacionado com a fiabilidade operacional e do custo da solução.

É possível classificar os sensores de diferentes formas (Stenerson, 1999), em função do contacto ou não com o objeto a detetar, ou do tipo de sinal que transmitem, que pode ser digital (sinal binário ON-OFF) ou analógico, estes também denominados de sensores de saída variável, mais complexos e com mais informação sobre o processo são capazes de emitir um sinal analógico (ex: 4 a 20 mA) em função de uma variável de processo como uma temperatura, pressão ou outra similar.

Apesar da cerâmica possuir vários processos térmicos que exigem dezenas de sensores analógicos para medir temperaturas, pressões e humidades, neste capítulo apenas são apresentados os sensores utilizados no trabalho uma vez que são aqueles que importam no seguimento do projeto.

2.1.1 Sensor de contacto ou fim de curso

Provavelmente um dos sensores mais antigos e mais usados na indústria. Apesar de possuírem uma menor robustez e fiabilidade em resultado do contacto mecânico, a sua utilização ainda prevalece em muitos campos. Além de detetarem qualquer tipo de material, o seu reduzido custo e o facto de utilizarem contactos livres são vantagens que garantem a sua continuidade no tempo. Quase sempre disponíveis com 2 contactos livres, 1 aberto e 1 fechado (NO e NC), a sua ligação elétrica é extremamente simples e podem ser aplicados em série sem qualquer limitação elétrica uma vez que não exigem alimentação e não provocam queda de tensão do sinal.

Na figura 1 apresenta-se o fim de curso mais utilizado no projeto e que foi aplicado nas situações de emergência das máquinas, quando se verifica algum deslocamento que ultrapasse os limites de segurança. No caso concreto das pinças que movimentam o material, foi possível ligar em série os vários fins-de-curso que limitam os movimentos de elevação e translação e usar apenas um ponto de entrada do autómato.



Figura 1: Fim de curso de 2 contactos da Telemecanique

2.1.2 Sensor indutivo

Também denominado como sensor de campo, porque deteta variações que ocorrem num campo eletromagnético induzido pelo sensor, quando atravessado por um objeto metálico. Apenas detetam metais ferrosos e são uma boa escolha para ambientes sujos de poeiras e líquidos. Apesar de limitados a uma distância máxima de deteção de aproximadamente 60 mm no caso dos sensores de maiores dimensões, as suas características, preço e fiabilidade fazem com que sejam muito usados na maquinaria em geral, concretamente em movimentos onde existe uma trajetória definida, geralmente definida por um sistema de guiamento. Apesar de existirem em diferentes formatos e tamanhos, com diferentes aplicações e distâncias de deteção, o detetor indutivo cilíndrico é o mais comum porque proporciona uma fácil montagem com possibilidade de regulação da sua posição em várias direções. Eletricamente, existem no mercado sensores a 2 e a 3 fios, em muitos casos com a possibilidade de operarem a diferentes tensões e de serem conectados para fornecer um contacto aberto ou fechado. Os detetores a 2 fios, que trabalham a corrente alternada (CA), em regra são mais caros e

atualmente menos utilizados devido à proliferação de PLCs com entradas a transístores. É necessário garantir um limite aceitável na corrente de saída que é de 100 mA na ligação a transístor. Na figura 2 é possível observar um detetor indutivo com um diâmetro de 30 mm e que permite um alcance de deteção de aproximadamente 15 mm.



Figura 2: Detetor indutivo da Turck

2.1.3 Sensor magnético

Sensores capazes de detetar a presença de um campo magnético. Com uma distância de deteção pequena, geralmente na ordem dos milímetros, são muito usados nos cilindros pneumáticos, onde os fabricantes de material pneumático em regra já possuem soluções integradas e muito práticas para a sua utilização. Facilitam o projeto de máquinas em situações onde se pretende detetar a posição da haste do cilindro e dessa forma inferir o estado do órgão ou equipamento associado. Representam uma solução muito funcional porque simplificam o projeto ao evitar o desenho de acessórios adicionais, e o facto de implicarem uma economia de espaço pode ser determinante no desenho de algumas soluções. A figura 3 apresenta um cilindro pneumático com 2 sensores magnéticos montados em ambas as extremidades.



Figura 3: Detetores magnéticos acoplados a um cilindro pneumático

2.1.4 Sensores óticos (célula fotoelétricas)

Operam segundo o princípio fotoelétrico. Uma luz, geralmente emitida por um LED (*light-emitting diodes*) é recebida por um foto-detetor que deteta a presença ou ausência de luz. Os dois componentes podem estar juntos no mesmo dispositivo, no caso das células de reflexão direta no material (células de reflexão difusa), ou nas células de reflexão no espelho (retro-reflexão). Nas células de reflexão no espelho, que funcionam bem a maiores distâncias, é possível obter um alinhamento mais rigoroso no seguimento do feixe emitido. As células de

reflexão difusa são úteis em situações onde não é possível a montagem do espelho refletor, mas como a reflexão é realizada pelo material é necessário algum cuidado quando a tonalidade do material está sujeita a alterações. Na figura 4 é possível ver dois exemplos destes sensores óticos.

Finalmente, temos as células de barreira (sensores refletivos), que apesar de serem as que conseguem garantir um funcionamento mais fiável, possuem o emissor separado do recetor, obrigando a uma alimentação dos dois dispositivos em separado.



a) Sensor ótico de reflexão no espelho



b) Sensor ótico de reflexão difusa

Figura 4: Sensores óticos da Turck.

2.1.5 Encoders

Também conhecidos como codificadores óticos, são dispositivos eletromecânicos constituídos por um tambor onde se encontra o sensor ótico e um disco com janelas codificadas que gira movido por um veio. Na montagem são acoplados ao elemento cuja posição ou velocidade se pretende medir. Podem ser incrementais ou absolutos, sendo estes últimos menos utilizados e em regra aplicados em situações mais específicas. Apresentam-se no mercado em diferentes resoluções e a sua montagem ao equipamento é feita com um acoplamento de borracha para compensar desalinhamentos e reduzir as cargas a que fica sujeito.

Em rotação os *encoders* incrementais criam uma série de ondas quadradas que resultam num trem de impulsos que são utilizadas para medir o deslocamento percorrido. Ao contrário dos *encoder* absolutos, a sua natureza incremental significa que tem de existir um ponto de referência fixo que sirva para efetuar o *reset* do movimento a que está associado. Sem essa referência o sistema eventualmente pode ficar perdido. Geralmente é aconselhável a montagem de um sensor numa das posições limite do sistema para assegurar o *reset* à contagem do *encoder* de uma forma periódica.

A escolha da resolução do *encoder* depende da aplicação em causa e para isso é necessário efetuar os cálculos necessários a fim de garantir o rigor pretendido para o movimento em causa. Na cerâmica, onde os equipamentos assumem dimensões consideráveis é preferível a utilização de *encoders* mais robustos aos quais estão associados veios de maiores dimensões. Na figura 5 temos dois *encoders* com dois tipos de flanges de aperto.

Finalmente, no lado do autómato é necessário a existência de entradas de contagem rápida (HSC – *High Speed Counter*), que estão preparadas para realizar a leitura dos impulsos do encoder, aos quais estão associadas frequências de leitura extremamente elevadas.



Figura 5: Encoder incremental Lika

2.2 Atuadores

Um atuador é um dispositivo de *hardware* que converte um sinal de um controlador para uma grandeza física (Palonen, 2014). Os atuadores ou acionadores são os elementos responsáveis pela atuação dos sistemas mecânicos, isto é, possibilitam a conversão da energia elétrica em energia mecânica, de uma forma direta nos sistemas elétricos e recorrendo a meios de transmissão como é o caso do ar-comprimado na pneumática e do óleo na hidráulica. Os três tipos estão presentes no trabalho em situações distintas, dependendo dos movimentos, das forças e do controlo que se pretende para cada circunstância em particular.

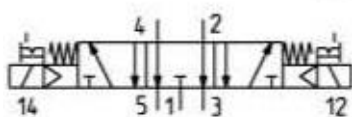
2.2.1 Atuadores pneumáticos

Um sistema pneumático exige uma instalação constituída por um compressor, um secador de ar para remover a humidade, um reservatório de ar-comprimado que acumula e estabiliza a pressão num valor adequado (geralmente 7 a 8 bar), e uma rede de ar comprimido que faz a distribuição pelos vários equipamentos. Nos vários locais de utilização do ar comprimido é colocada um regulador de pressão para ajustar a força exercida pelos atuadores e eventualmente um copo de lubrificação.

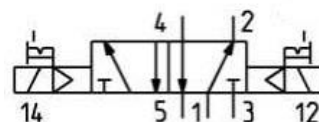
As electroválvulas, que recebem o sinal de comando do autómato, condicionam o funcionamento do atuador pneumático e devem ser escolhidas em função de cada aplicação em particular. As mais utilizadas são apresentadas na figura 6, válvula de 5/2 (5 vias e 2 estados) e válvula 5/3 (5 vias e 3 estados com retorno à posição central).



a) Eletroválvula com comando elétrico



c) Esquema de eléroválvula 5/3



b) Esquema de eletroválvuula 5/2

Figura 6: Eletroválvulas pneumáticas

Os cilindros pneumáticos, que podem ser de simples ou duplo efeito, são o elemento mais comum para transformar a energia do ar comprimido num movimento mecânico. No cilindro de simples efeito o trabalho é desenvolvido apenas num sentido, enquanto que no cilindro de duplo efeito o trabalho é desenvolvido em ambos os sentidos uma vez que a pressão de ar se aplica alternativamente em ambos os lados do êmbolo (Paraninfo, 2000). Na figura 7 temos um cilindro de duplo efeito onde é visível as duas entradas de ar comprimido.



Figura 7: Atuador / cilindro pneumático

A bomba de vácuo (figura 8), componente geralmente utilizado em aplicações de levantamento de peças através da sucção criada pelo vácuo, também pode ser aplicada para acelerar o esvaziamento de certos componentes que implicam a acumulação temporária do ar comprimido. A passagem do ar comprimido por um conjunto de orifícios no interior da bomba faz elevar a velocidade do ar comprimido e cria uma depressão que faz arrastar uma corrente de ar que gera o vácuo na bomba (princípio de Venturi³).



Figura 8: Bomba de vácuo

A pneumática, apesar de possuir limitações ao nível de controlo de posição e velocidade, apresenta-se como a solução mais adequada para as situações onde se pretende controlar as forças e onde se verificam movimentos cíclicos de pequeno curso. Em determinadas situações, quando é necessário a utilização de mais do que um cilindro para executar um movimento, para garantir a sincronização de movimentos pode ser necessário o uso de elementos mecânicos como correntes ou cremalheiras conjugadas com carretos.

Na indústria cerâmica em particular, a utilização de cilindros pneumáticos é muito útil em inúmeras situações onde se verifica a existência de movimentos cíclicos de pequeno curso, e a necessidade de variar a força, conseguida pelos reguladores de pressão e pressóstatos do sistema, é uma necessidade que resulta da natureza do material cerâmico, cuja resistência varia em função do respetivo grau de humidade e consoante o seu estado, seco ou cozido.

³ Efeito de Venturi em homenagem ao físico italiano Giovanni Battista Venturi.

Uma vantagem dos acionamentos pneumáticos está relacionada com o facto de exigirem pouco espaço para montagem, sendo mesmo a única solução em locais onde a montagem dos vários componentes de um sistema eletromecânico está fora de questão.

2.2.2 Atuadores hidráulicos

Um sistema hidráulico possui uma centralina (figura 9), constituída por um depósito de armazenamento do óleo onde está montada a bomba, geralmente uma bomba de carretos, e as electroválvulas que recebem os sinais de comando do PLC e controlam o movimento dos atuadores. Estes, tanto podem ser cilindros hidráulicos quando estão em causa movimentos lineares, ou motores hidráulicos quando se tratam de movimentos rotativos. Os sistemas hidráulicos são utilizados em aplicações caracterizadas por movimentos lentos e que exigem esforços mais elevados, em oposição aos sistemas pneumáticos. Podem trabalhar a diferentes gamas de pressões, entre os 35 e 84 bar num sistema de média-alta pressão, ou até os 210 bar em sistemas de alta pressão (Fialho, 2004).



Figura 9: Centralina hidráulica

2.2.3 Atuadores elétricos

Os mais comuns e mais utilizados neste trabalho são os atuadores elétricos, cuja força motriz resulta de um motor elétrico de indução trifásico AC (corrente alternada), mas que também pode consistir num motor DC (corrente contínua), motores lineares, motores de passo ou servomotores. Estes últimos serão abordados mais à frente, pois o seu papel será cada vez mais determinante no futuro da automação.

Os atuadores elétricos, que muitas vezes se apresentam na combinação de moto-redutor, quando associados a outros sistemas de transmissão mecânica como correntes, correias ou carretos e cremalheiras, entre outros, constituem um conjunto geralmente designado por acionamento eletromecânico.

Variadores de frequência:

Os variadores ou conversores de frequência são unidades eletrónicas de potência que possibilitam a variação da velocidade dos motores de indução através da alteração da frequência de rede (50 Hz). Para tal, num primeiro momento, um conjunto de retificadores convertem a corrente alternada da rede para corrente contínua, a qual é armazenada em condensadores e posteriormente uma unidade de inversores, com base em técnicas de modulação (PWD⁴) para regular a voltagem e a frequência, criam as 3 fases em corrente alternada (Druyts, 2010).

⁴ Pulse Width Modulation

Hoje em dia apresentam preços bastante competitivos e representam uma solução incontornável devido à qualidade que imprimiram nos acionamentos eletromecânicos. O controlo conseguido no movimento das cargas ao nível do posicionamento, velocidade e acelerações, implicou melhorias substanciais nos processos de automação em geral. O impacto dos variadores na área da automação industrial ultrapassa largamente a movimentação de materiais e é visível também nas áreas de controlo de processos, nomeadamente na regulação de variáveis analógicas como temperaturas, humidades, pressões, etc. A implementação de sistemas de controlo PID (*Proportional-Integral-Derivative controller*) beneficiou imenso com a possibilidade de variar continuamente a saída, nas aplicações em que esta é definida pela velocidade dos acionamentos. Também tornou possível a construção de sistemas mais eficazes do ponto de vista energético, porque possibilita o ajuste automático da velocidade em função das necessidades de processo, refletindo assim as variações de capacidade dos processos ao longo do tempo. Nos processos térmicos, que operam em contínuo e onde se verifica um consumo intensivo de energia, é possível deste modo conseguir uma significativa redução nos consumos de energia elétrica, simplesmente pela redução da velocidade dos ventiladores.

Os sistemas em malha fechada acionados por variadores de frequência que comandam motores de corrente alternada e com posicionamento controlado por *encoder*, representam uma solução económica, e suficiente em muitos processos industriais. No caso particular da cerâmica, onde estão em causa a movimentação de cargas relativamente pesadas, na ordem das centenas de quilogramas, a velocidades próximas dos 200 mm/s, um rigor na casa dos milímetros é geralmente suficiente para responder às necessidades do processo. Neste contexto, a combinação de variadores de frequência e *encoders* ainda representa a solução mais adequada para o tipo de tecnologia em causa.

Servomotores e motores de passo:

Um servomotor é um atuador rotativo ou linear que permite um controlo preciso de uma posição angular ou linear, assim como o controlo da velocidade ou o binário (Lempereur, 2015-2016). Os servomotores e os motores de passo representam um papel muito importante na automação industrial, sempre que estão em causa movimentos rápidos com elevadas precisões de controlo. No passado demasiado caros e apenas reservados para aplicações específicas, como máquinas CNC (*Computer Numerical Control*) ou aplicações de robótica, onde a interpolação entre vários eixos é uma necessidade, verifica-se atualmente uma viragem importante no mercado da automação. A forte concorrência, que resultou da entrada dos fabricantes asiáticos fez baixar significativamente os preços deste tipo de acionadores. Começam a aparecer marcas no mercado que privilegiam a abertura dos seus produtos, mesmo em países como os Estados Unidos e Alemanha. Cada vez mais, a automação tende para a utilização de diferentes marcas numa mesma solução, aproveitando a especialidade de cada uma e racionalizando o investimento do ponto de vista financeiro.

Na figura 10 é possível observar os principais componentes que constituem uma solução com um servomotor. Além do motor e *encoder*, este último geralmente acoplado ao motor, é necessário um *drive*, unidade de potência que está entre o controlador e o servomotor, responsável pela amplificação do sinal de comando que recebe do controlador para comandar o servomotor. O controlador, geralmente um PLC, possui um módulo de *motion* para controlar os movimentos do servomotor e transmitir a informação necessária para executar os movimentos. Atualmente e para pequenas potências, algumas marcas já integram o *drive* no controlador o que permite poupar espaço e simplifica ainda mais a ligação elétrica.



Figura 10: Componentes de um sistema de controle de movimento com servomotor (solução beckhoff para um controle de uma máquina CNC realizado por um PC industrial)

Além dos convencionais servomotores rotativos, começam a aparecer no mercado os servomotores lineares, mais caros, mas com melhor desempenho ao nível da velocidade, precisão e tempo de resposta (figura 11). Possuem a vantagem de não necessitar de nenhum elemento mecânico para transformar o movimento rotativo nas aplicações de movimento linear, e permitem a montagem de vários elementos numa mesma pista de ímanes permanentes.

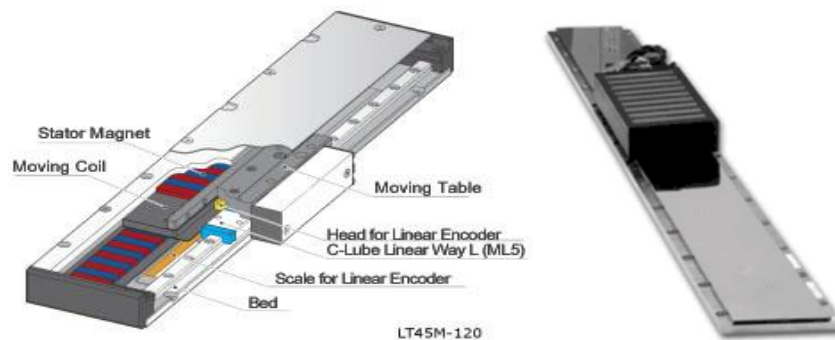


Figura 11: Servomotor linear

2.3 Controladores lógicos programáveis (PLC) ou Autómatos

Os primeiros PLCs surgiram em finais dos anos 60 na indústria automóvel (Alphonsus & Abdullah, 2016). A General Motors pretendia substituir os quadros de comandos a relés, que eram demasiado rígidos e pouco propensos à introdução de alterações, para responder a necessidades específicas da indústria (Groover, 2001). Rapidamente se assumiram como um dispositivo imprescindível nos mais variados processos industriais que envolvem a automação de operações, particularmente em processos complexos e sujeitos a alterações, em resultado da necessidade da adaptação das linhas de produção a novos modelos. A programação em linguagem de contactos (*ladder*), inspirada nos esquemas elétricos e por isso bem conhecida dos técnicos, a possibilidade em alterar os programas em modo *offline* e seguidamente carregar as alterações para o PLC, juntamente com a facilidade em detetar e corrigir os erros na lógica de comando, foram fatores responsáveis pelo seu enorme sucesso na engenharia de automação.

O autómato ou Controlador lógico programável (PLC) é um elemento central e determinante em qualquer sistema de automação (Alphonsus & Abdullah, 2016). Recebe dos sensores, botões de comando e outros dispositivos de entrada toda a informação sobre o estado do

sistema, executa um programa constituído por um conjunto de instruções previamente introduzido na sua memória, e constrói a resposta do sistema ao modificar o estado das saídas onde estão ligados todos os acionadores. Basicamente, este processo também conhecido como ciclo de varrimento, é um processo de 3 etapas, leitura sequencial das entradas, processamento e execução do programa e finalmente atualização das saídas.

O tempo de ciclo (*scan time*) que o PLC demora a realizar este processo é um dos parâmetros importantes num autómato, consiste na frequência de repetição do programa em milissegundos e essencialmente depende da capacidade de processamento do autómato e da extensão do programa. Refira-se que nos autómatos mais recentes é possível definir tarefas prioritárias para conseguir tempos de execução inferiores ao tempo de ciclo do resto do programa. Isto é importante em tarefas críticas relacionadas com questões de segurança, ou em solicitações específicas quando se verifica que um determinado evento pode mudar de estado mais rapidamente do que o tempo de ciclo.

Na figura 12 é possível visualizar esquematicamente os principais componentes que constituem um autómato (Hanák, 2017).

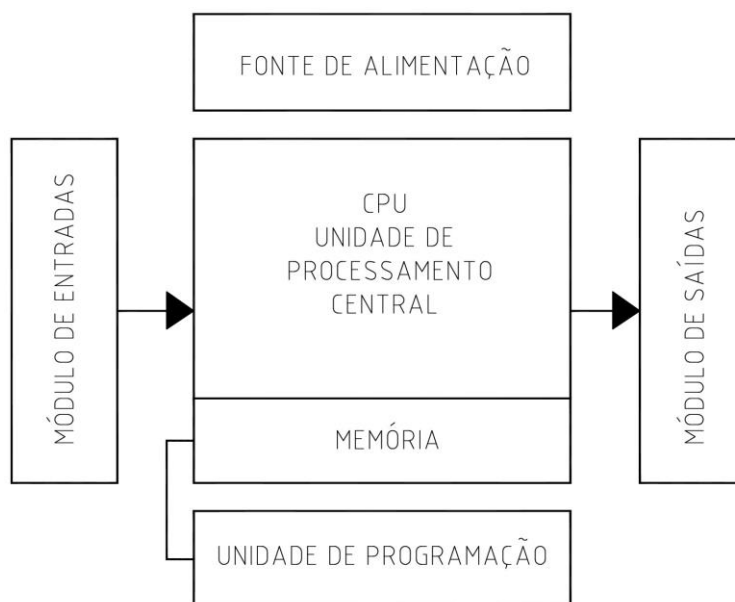


Figura 12: Diagrama de componentes de um PLC

Tal como num computador, a unidade de processamento central (CPU) basicamente é o cérebro do PLC, onde reside o sistema operativo (*firmware*) que pode vir pré-instalado de fábrica ou então é disponibilizado pelo fabricante. O CPU controla as comunicações com os outros dispositivos, interage com os vários componentes e gere a memória do sistema. Possui um sistema interno que faz o diagnóstico, verifica a sua operacionalidade, e impede o seu arranque, por questões de segurança, em caso de anomalia.

Inicialmente focados nas operações lógicas de comando associadas ao ciclo de funcionamento dos equipamentos, com o tempo os autómatos foram alargando o seu campo de ação a outras operações associadas ao controlo industrial. A interação direta com os dispositivos de campo (sensores e atuadores) juntamente com as suas capacidades de comunicação, desenvolvidas ao longo dos anos, colocaram o PLC numa posição central relativamente ao processo industrial. A sua aplicação generalizou-se na indústria, seja no controlo de processos em tempo real, em linhas de produção ou simplesmente na operação de máquinas industriais.

Cada marca possui várias gamas de autómatos, cujas principais características como capacidade de processamento, memória, possibilidade de expansão e comunicações, variam em função da dimensão e necessidades impostas pelas aplicações a que se destinam. Os modelos de entrada, mais económicos, que disponibilizam um número limitado de entradas e saídas, por vezes combinadas com entradas de contagem rápida para a ligação de *encoders*, destinam-se a aplicações isoladas e geralmente associadas a fabricantes de máquinas ou aplicações menos exigentes. Existem também modelos de grande capacidade de processamento e memória, destinados a grandes sistemas, mas atualmente o conceito dos PLCs evolui para soluções modulares, mais flexíveis, customizáveis e adaptáveis às necessidades de cada sistema em particular. Estes, possuem a vantagem de serem facilmente substituídos em caso de avaria, muitas vezes mantendo partes do sistema em funcionamento, facilitam a expansão em termos de espaço, e beneficiam de uma grande variedade de módulos de entradas e saídas que o mercado disponibiliza. São por definição sistemas mais abertos e permitem uma maior integração entre dispositivos de diferentes marcas. Hoje em dia é possível encontrar marcas que se dedicam à comercialização de módulos de entradas e saídas (I/O), que obedecem aos requisitos de comunicação impostos pelos protocolos mais utilizados nas denominadas redes de campo. É possível, assim, construir um vasto leque de soluções e encontrar facilmente uma configuração adequada a cada aplicação em particular.

Um dos grandes benefícios dos sistemas modulares em relação aos sistemas fixos tradicionais prende-se com a possibilidade de aproximar os sensores e atuadores das unidades de I/O. Um único cabo de comunicação consegue substituir múltiplos cabos, com implicações óbvias na redução de custos e poupança de espaço. Atualmente, todas as marcas possuem soluções modulares.

A utilização adequada de variáveis também é um dos pontos importantes na construção de um programa e na utilização de um autómato. A estrutura da memória de um autómato constitui uma matriz de células onde é possível guardar um bit de informação (1 ou 0) em cada uma, (Santos & Silva, 2015). As variáveis utilizam conjuntos de bits para armazenar o respetivo valor. No PLC utilizado no trabalho (linha Momentum da Modicon), é possível declarar variáveis elementares que ocupam diferentes espaços de memória consoante a necessidade, variáveis binárias de um bit (BOOL), variáveis que ocupam 2 bytes ou 16 bits (INT, WORD e UINT) e finalmente as variáveis que ocupam 4 bytes ou 32 bits (DINT, REAL, UDINT e TIME). Para cada tipo de variável é possível criar *arrays* de diferentes dimensões com um número de elementos pré-definido pelo programador. Os *arrays* são bastante úteis ao nível da programação, ajudando muito na implementação de estruturas em texto estruturado, mas é necessário ter algum cuidado ao definir o respetivo número de elementos, pois reservam o espaço de memória no PLC mesmo que não estejam a ser utilizados.

As variáveis são locais quando possuem um endereço de memória. É o caso das entradas e saídas do autómato, mas também de todas as variáveis que necessitem de uma comunicação com o exterior, seja um OPC (Open Platform Communications), um programa de supervisão ou um HMI (Human Machine Interface). Às variáveis sem endereço de memória, ou seja, identificadas apenas pelo respetivo nome, dá-se a designação de variáveis não locais. Na generalidade dos programas é possível trabalhar com os nomes das variáveis e associar o endereço de memória numa fase posterior quando e caso se verifique a sua necessidade.

Na estrutura dos endereços dos autómatos da Modicon, que utilizam o protocolo de comunicação Modbus, os registos na memória são identificados por um número com 6 dígitos onde o primeiro identifica o tipo de registo: 0x para as saídas e as variáveis binárias (*holding bits*), 1x para as entradas binárias (apenas leitura), 3x para os registos de entrada (leitura) e 4x para os registos de saída ou words (*holding registers*).

2.4 Comunicações, redes e OPC

Em 1996, cerca de duas décadas após o aparecimento dos primeiros PLCs surgiu o desenvolvimento da tecnologia OPC, acrónimo inicial de OLE (*Object Linking and Embedding*) for *Process Control* e posteriormente atualizado para *Open Platform Communications*, gerido pela OPC Foundation. Define um conjunto de especificações, as quais visam normalizar a comunicação com controladores, independentemente dos protocolos de comunicação usado pelos fabricantes (OPCFoundation, 2016). A sua principal aplicação reside na transferência de dados em tempo real entre os PLCs, DCSs (Distributed Control System) e outros dispositivos que integram os sistemas de produção para as aplicações clientes como HMIs, SCADAs, etc (Palonen, 2014).

A utilização do OPC na indústria incrementou a integração de sistemas e facilitou muito o desenvolvimento de aplicações de entrada de dados em ambiente *windows*. A capacidade de um servidor de dados OPC em comunicar com dezenas de protocolos e disponibilizar essa informação numa plataforma comum (OPC DA⁵), facilmente acessível num ambiente cliente/servidor, permite desenvolver interfaces homem-máquina (HMI) ou sistemas SCADA e integrar diferentes equipamentos de um processo industrial.

Numa perspetiva de integração de sistemas, as vantagens da utilização de um OPC são evidentes:

- i) Garante a possibilidade de integrar num mesmo local toda a informação do processo, independentemente da sua origem, do autómato e dos protocolos utilizados;
- ii) Facilidade de expansão e integração de sistemas independentes;
- iii) A fiabilidade do servidor de dados que gere todo o tráfego de informação na rede de forma eficiente;
- iv) Facilidade em comunicar a informação com todo o tipo de clientes (Ahmed, 2011), sejam HMIs, aplicações desenvolvidas a partir de um software comercial do tipo SCADA ou mesmo a partir de uma linguagem de programação comum, como o VBA (*Visual Basic for Applications*), *Visual Basic*, *C#*, ou outra similar, para as quais o OPC disponibiliza as bibliotecas e objetos.

Apesar do sucesso do OPC DA, a dependência da Microsoft através da utilização da tecnologia DCOM⁶, com limitações ao nível da segurança e dificuldades bem conhecidas quanto à sua configuração, juntamente com a necessidade de criar um único conjunto de serviços que incluísse o *Data Access*, *Alarm & Events* e o *Historical Data Access* (Palonen, 2014), levaram a OPC Foundation a lançar o protocolo OPC UA⁷ em 2006. Este, providencia um meio para ligar clientes e servidores de uma forma segura e sem a necessidade de utilização da DCOM. Criado para ser independente da plataforma utilizada, resolve as questões de segurança associadas ao ambiente Windows e fundamentalmente abre o OPC para as novas tecnologias *web*, que cada vez ganham mais espaço na automação industrial. Seguramente desempenhará um papel importante no futuro, nomeadamente na indústria 4.0, onde a exigência de flexibilidade, adaptabilidade e transparência representam requisitos

⁵ OPC Data Access, servidor de dados OPC clássico.

⁶ *Distributed Component Object Model*, uma extensão da COM *Component Object Model*, para a comunicação entre objetos distribuídos, criada pela Microsoft para a comunicação cliente servidor em ambientes de redes locais (LANs).

⁷ OPC UA (Unified Architecture)

essenciais. No artigo de (Schleipen, Gilani, Bischoff, & Pfrommer, 2016) são explorados diferentes cenários da aplicação do OPC UA e que representam o seu potencial no futuro das comunicações em ambientes da Indústria 4.0. No mesmo artigo também se defende a importância do OPC, em termos futuros, no domínio da IoT, mais concretamente na plataforma OpenIoT, criada para responder ao crescimento rápido de dispositivos que produzem uma quantidade de dados crescente.

Apesar de ser uma tecnologia aberta (*open source*), os principais fabricantes como a Siemens, Rockwell, Honeywell, Schneider Electric, Beckhoff, entre outros, assumem abertamente a incorporação do OPC UA nas suas plataformas.

2.5 Programação IEC61131-3

O IEC61131-3 define um quadro *standard* para a programação de autómatos que é independente do fabricante e é o resultado de um esforço realizado ao longo de vários anos pelo organismo IEC (*International Electrotechnical Commission*). Criado para uniformizar e simplificar a programação, até então diferente consoante a marca do controlador, e para responder às exigências cada vez mais complexas dos sistemas de controlo, representa uma viragem importante na evolução dos autómatos. Constituído pelas 5 linguagens de programação (*ladder* - LD, *function block diagram* - FBD, *instruction list* - IL, *strutured text* - ST e *sequential flow chart* - SFC), possibilita que o programador possa escolher e utilizar em simultâneo as linguagens que ache mais apropriadas para responder às necessidades de cada problema. Outras vantagens resultam do impacto positivo na manutenção e atualização de sistemas e no melhor reaproveitamento do código de programação, o que pode ser muito útil em certas situações.

Enquanto que o código das linguagens de texto é executado de cima para baixo e linha a linha, as linguagens gráficas consistem em elementos gráficos interligados para constituir o programa (Theorin, 2014).

Apesar de alguma resistência, ao longo dos anos a generalidade das marcas adotaram a programação de autómatos segundo a norma IEC61131-3, mesmo que em certos casos o disponibilizem em paralelo com as suas próprias linguagens como é o caso dos autómatos da Modicon utilizados no projeto.

A linguagem de contactos (*ladder*), desenhada para facilitar a transição dos técnicos que trabalhavam nas áreas de automação e que estavam habituados à implementação da lógica de comando a relés, é de longe a mais utilizada. Um programa em *ladder* (figura 13) é basicamente igual a um esquema elétrico ou diagrama de contactos elétricos, de compreensão bastante simples e ideal para a implementação de condições binárias. A implementação de blocos funcionais para as operações mais complexas envolvendo variáveis numéricas é bastante simples. A sua origem na linguagem de contactos dá-lhe um carácter universal que é importante nos meios industriais. O facto de ser uma linguagem gráfica ajuda bastante na simulação do processo e na deteção de erros quando o autómato está em modo *run*⁸ e o computador está em comunicação *online*.

⁸ Dependendo do PLC, existem diferentes modos que permitem a atualização em trabalho do programa. Alguns permitem a alteração do programa em modo *run*, outros apenas no modo de programação, mas na generalidade todos possibilitam a visualização online animada do estado do sistema.

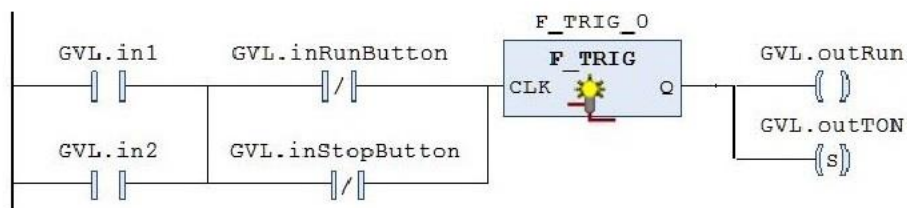


Figura 13: Amostra de programa em Ladder

De facto, a linguagem de contactos *ladder* é bastante intuitiva e flexível na implementação de um programa, contudo, obriga a alguns cuidados especiais para que o programador não se perca com o aumento da complexidade. Uma boa preparação e organização da informação são fundamentais e o programa deve ser construído em módulos, evitando demasiadas interligações e dependências entre as diferentes partes. Também deve ser evitado o uso excessivo de memórias internas que armazenam temporariamente o estado do sistema, o qual, sempre que possível, deve depender diretamente das condições determinadas pelos sensores ou outros dispositivos de entrada (ponto 4.6.5).

Um dos pontos onde o *ladder* é mais criticado é na criação de processos sequenciais. É um facto que não possui uma estrutura consistente para estruturar as sequências, no entanto, é possível construir sequências de programação complexas e ao mesmo tempo aproveitar as vantagens de flexibilidade proporcionadas pela linguagem de contactos. Os programas apresentados nos anexos possuem inúmeros exemplos de sequências de trabalho em automático, apoiadas pelo texto estruturado sempre que estão em causa a utilização de variáveis numéricas. É na aplicação de variáveis numéricas, no cálculo numérico, na utilização de *arrays* e no tratamento de dados em geral que o *ladder* possui as suas maiores limitações.

O FBD (*Function Block Diagram*) é também uma linguagem de programação gráfica constituída à base de blocos que estabelecem uma função entre as variáveis de entrada (*inputs*) e as variáveis de saída (*outputs*). Os blocos podem ser *standard*, quando fazem parte da linguagem de programação (bibliotecas IEC ou do fabricante), ou criados pelo utilizador (figura 14). No trabalho apresentado, o FBD apenas foi utilizado na programação dos *encoders* através das bibliotecas disponibilizadas pela própria Modicon e que visam a simplificação da configuração da carta de *encoder*.

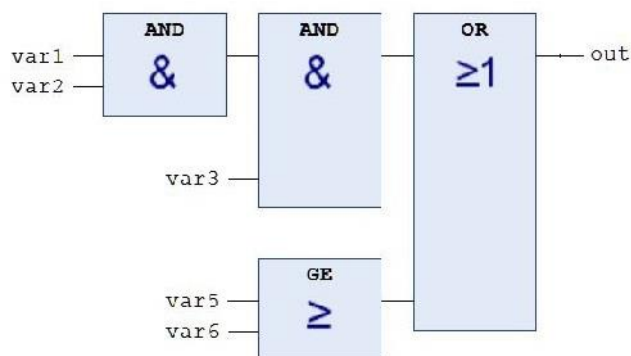


Figura 14: Amostra de Function Block Diagram

O IL (*Instruction List*) é uma linguagem de texto de baixo nível semelhante ao *assembly*. O programa é constituído por várias linhas de código (lista de instruções) onde cada linha representa uma operação a ser executada (figura 15). Os programas são compactos, exigem menos espaço de memória e executam mais rapidamente do que um programa elaborado

numa linguagem gráfica. Também podem ser escritos em qualquer editor de texto o que facilita a sua portabilidade e eventual transferência para outras plataformas. Numa altura em que as capacidades dos PLCs aumentam drasticamente, algumas dessas vantagens perdem força. As maiores desvantagens resultam da dificuldade em visualizar os processos, na deteção de erros e na execução de cálculos matemáticos complexos.

```
LD var1
AND var2
ANDN var3
OR var4
ST var5
```

Figura 15: Amostra de programa em Instruction list

O texto estruturado (figura 16) é uma linguagem de código semelhante a uma linguagem de programação de alto nível como o Pascal ou o C (Group Rexroth Bosch, 2009). Das 5 linguagens que fazem parte do universo IEC é considerada a que mais impacto provocou na evolução da programação de autómatos. Possui mais facilidade na implementação de cálculos complexos, na utilização de *arrays* e no processamento e análise de grandes quantidades de dados. As funções *if then*, *select case* e os *loops* são extremamente úteis para definir estados do sistema e para trabalhar com *arrays*, apesar de ser necessário algum cuidado para fugir de ciclos intermináveis que facilmente podem colocar em causa a execução do programa. Como linguagem de texto, a execução do ST é mais rápida que as linguagens gráficas. A utilização das funções de *copy* e *paste* facilitam a reutilização de código. Os editores de ST simplificam a inclusão de comentários, o que ajuda bastante na compreensão do programa, como pode ser observado nos anexos 4 e 5. Como principais limitações temos a introdução de alterações ao programa e a deteção de erros, tarefas seguramente mais simples nas linguagens gráficas.

```
P_step := 3;

CASE P_step OF
  1: P_step := P_step+1;
  2: P_step := P_step+1;
  3: P_step := P_step+1;
ELSE
  P_step := P_step+10;
END_CASE

IF limit_switch_1 OR limit_switch_2 THEN
  OUT_1:=TRUE;
END_IF
```

Figura 16: Amostra de programa em Texto Estruturado

Por fim temos o SFC (*Sequential Flow Chart*), linguagem gráfica inserida no IEC61131-3 em resultado da pressão francesa para inserir o GRAFCET (*Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition*⁹), que tem como objetivo a definição de metodologias de descrição de processos com total independência da tecnologia associada (Santos & Silva, 2015). No SFC a representação do sistema emerge de uma sucessão alternada de estados e transições (figura 17), interligados para constituir uma sequência de etapas às quais estão associadas um conjunto de ações que podem ser programadas em qualquer uma das linguagens IEC. Cada

⁹ Gráfico Funcional para Controlo de Etapa-Transição.

etapa que esteja ativa permanece nesse estado até que as condições definidas na transição seguinte sejam verdadeiras. Nessa altura, a etapa anterior é desativada e é ativada a etapa seguinte. É uma linguagem de fácil implementação na programação de aplicações sequenciais que podem ser divididas em pequenos passos ou numa série de processos repetitivos. A fácil visualização do estado do programa pelo seguimento das etapas ativas ajuda na deteção de erros e facilita a perceção do sistema. Todavia, possui algumas limitações, como o facto de exigir uma grande preparação para evitar que os diagramas fiquem demasiado complexos e difíceis de seguir. Sendo uma linguagem gráfica, exige também tempos de execução mais longos. Finalmente, temos a impossibilidade de converter um programa em SFC para qualquer das outras linguagens IEC, o que a deixa numa posição um pouco isolada em relação às restantes linguagens IEC.

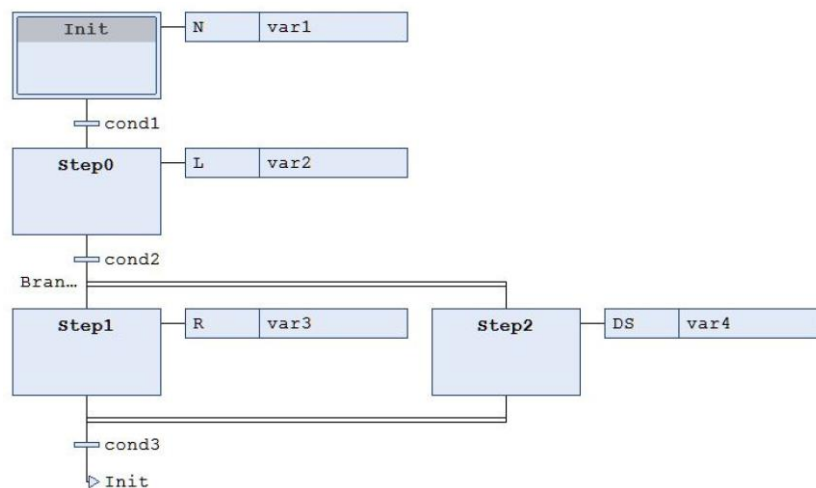


Figura 17: Amostra de programa em SFC

Qualquer uma das linguagens pode ser utilizada para construir um programa, mas seguramente a formação e a experiência do programador são cruciais no momento de escolher. Pessoalmente, entrei no mundo da automação pelo lado da informática, pelo que considero o ST uma linguagem quase obrigatória, pelo menos no cálculo numérico e no tratamento de dados. Com alguma experiência na programação de computadores e algum conhecimento, que foi evoluindo com o tempo, na interpretação de esquemas elétricos, o ST e a linguagem de contactos constituem a minha opção preferencial na elaboração de programas de automação.

2.6 Human Machine Interface (HMI)

Um HMI é um conjunto de dispositivos que permitem a interação entre o operador e uma máquina, conjunto de equipamentos ou processo industrial.

Os tradicionais painéis de controlo com unidades de comando e sinalização, constituídas por botões, sinalizadores, botões suspensos e outros dispositivos, ainda continuam a desempenhar um papel importante no panorama dos HMIs, nomeadamente nas questões de segurança, onde as normas impõem emergências físicas e relés de segurança especificamente cablados para o efeito (página 2-2-1 do esquema elétrico no anexo II.3). A sua utilidade também é visível em certas operações de transformação e movimentação, quando a intervenção rápida do operador é crítica para realizar ajustes e correções manuais ao sistema, o que implica a necessidade de controlar os acionadores manualmente através de botões físicos e de acesso imediato.

No entanto, as consolas gráficas, beneficiando de uma evolução tecnológica associada às plataformas informáticas (telemóveis e *tablets*), apresentam-se atualmente como uma solução bastante competitiva em termos de preço, com capacidade para complementar, ou eventualmente substituir as unidades de comando tradicionais. As opções existentes no mercado são muitas e a generalidade das marcas disponibilizam modelos com diferentes tamanhos, resoluções, écrans tácteis e/ou de botões, capacidades de memória, portas de comunicação, etc.

Além de tornar possível a replicação dos comandos tradicionais, as suas capacidades gráficas permitem o desenho de HMIs com uma apresentação impensável há uns anos a esta parte. Proporcionam também uma enorme flexibilidade que resulta da possibilidade de construir um HMI dinâmico, com vários *menus* e diferentes écrans, capazes de preencher as mais variadas necessidades de interação com a máquina e que podem variar no tempo em função do estado do sistema ou equipamento.

Outra vantagem da utilização de consolas resulta da eliminação de cablagens e na poupança dos pontos de entrada e saída do autómato, associados aos botões e sinalizadores tradicionais. A comunicação por protocolo, de preferência por Ethernet TCP/IP para facilitar a sua integração na rede informática, faz com que seja possível apresentar a informação de vários autómatos na mesma consola, funcionalidade extremamente importante quando existem vários PLCs espalhados no mesmo espaço fabril e se verifica a necessidade de partilha da informação¹⁰. Uma consola pode deixar de estar exclusivamente dedicada a uma máquina e passa a ser mais um dispositivo na rede, com capacidade de acesso à informação mais útil em cada momento. Por outro lado, todos os recursos e informação que passam pela consola estão disponíveis para partilha na rede. Qualquer alteração que seja necessário introduzir à programação da consola pode ser realizado a partir de qualquer computador na rede, agilizando todo o processo de atualizações, muitas vezes necessário quando é preciso ajustar o programa da consola em resultado de alguma alteração do processo.

A facilidade em atualizar os sistemas nas áreas de automação, onde existem inúmeros dispositivos a trabalhar em conjunto, é uma vantagem importante em qualquer processo de produção. Aumenta a flexibilidade do processo e influencia a capacidade de resposta da empresa para reagir a novas situações, valores importantes em qualquer organização industrial.

Na figura 18 apresenta-se a consola tátil da Beijer utilizada no projeto e aplicada em ambos os quadros de comando. Com várias portas de comunicação e um servidor *web* integrado, é possível visualizar o seu estado a partir da internet ou da rede informática. O software de programação, o iX Developer, é bastante completo e também pode ser utilizado no desenvolvimento de aplicações para serem instaladas num computador e funcionar como um SCADA. A Beijer assegura os *drivers* para comunicar com as principais marcas de autómatos e usa o C# *scripting* como linguagem de programação, o que representa uma vantagem por ser uma linguagem da Microsoft muito usada e com larga documentação.

¹⁰ Situação reforçada na cerâmica devido à grande distância física entre sistemas no espaço fabril.



Figura 18: Consola HMI Beijer Eletronics

Em certas situações o computador também pode ser usado como HMI, dependendo do grau de interação necessário entre o operador e a máquina. Quando o trabalho do operador é baseado essencialmente na supervisão de processos, é possível conseguir soluções bastante económicas, muitas vezes aproveitando computadores mais antigos, mas com capacidade mais do que suficiente para desempenhar este tipo de função. Contudo, devido ao seu reduzido custo atual e à sua maior fiabilidade para aguentar os ambientes industriais, as consolas acabam por representar uma solução mais racional.

2.7 Sistema de supervisão (SCADA)

Os sistemas de supervisão e aquisição de dados, geralmente designados SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), evoluíram com uma ligação forte às atividades e indústrias, muitas vezes associadas a infraestruturas críticas (CIs), que exigem um elevado grau de acompanhamento no controlo de processos em tempo real, tais como os processos químicos, os sistemas de transporte (ferrovias), a distribuição e tratamento de água, centrais de energia, entre outros (Rezai, Keshavarzi, & Moravej, 2016).

Apesar de tradicionalmente isolados e fechados em redes de comunicação dominadas por protocolos proprietários, atualmente utilizam arquiteturas abertas altamente interconectáveis tanto com as outras redes dentro das organizações como com a internet (Alves, 2014). Essa viragem aconteceu a partir de finais dos anos 90. A proliferação das redes informáticas (LAN¹¹) nos ambientes empresariais, os protocolos como o Modbus TCP/IP e Profinet, ambos 100% compatíveis com as redes *Ethernet*, e o aparecimento dos servidores de dados OPC desempenharam um papel importante nesta transição. Porém, o armazenamento da informação associada aos programas SCADA (históricos de variáveis, alarmes e eventos) ainda era baseado em sistemas proprietários, fechados e demasiado caros. As bases de dados relacionais baseadas em SQL (*Structured Query Language*), com grande crescimento nas tecnologias de informação (TI) a partir do ano 2000, vieram responder a este problema e atualmente servem de suporte para a grande maioria dos programas de supervisão, possibilitando o acesso à informação dos processos industriais facilmente a partir de qualquer local (InductiveAutomation, 2017). Muito por força desta situação os programas de supervisão possuem um papel determinante na ligação entre as tecnologias operacionais (TO) e as tecnologias de informação (TI).

¹¹ Local Area Network

Atualmente o mercado oferece uma grande variedade de sistemas de supervisão. A pesquisa efetuada no âmbito deste trabalho permitiu comprovar a existência de inúmeras soluções, desde as mais simples às mais complexas. Cada marca ou fabricante de PLC possui o seu pacote de *software* pronto para trabalhar com os respectivos PLCs, mas também com os autômatos da concorrência. Não há dúvida que a opção por um pacote de *software* da mesma marca do *hardware* oferece garantias sobre a estabilidade do sistema e uma maior facilidade ao nível das comunicações e configurações. Contudo, apesar de ser uma solução mais fácil de implementar, invariavelmente arrasta consigo alguma perda de independência, e inevitavelmente o sistema fica em certa medida refém do fabricante. Atualmente, o estado da arte e a evolução do mercado da automação permitem uma escolha apenas centrada nas vantagens de cada solução, independentemente da marca dos autômatos e protocolos utilizados. O líder mundial em programas SCADA, a Wonderware Intouch, não possuía, até recentemente ser adquirida pelo grupo francês da Schneider Electric, nenhuma ligação a fabricantes de *hardware*.

Inevitavelmente, as empresas centradas no *software* acabarão por dominar o mercado e os programas de SCADA tenderão a ser cada vez mais económicos. São empresas muito mais próximas das novas tecnologias informáticas ligadas à *internet* (servidores *web* e armazenamento na *cloud*), e seguramente acabarão por desempenhar um papel fundamental no panorama futuro da automação industrial. A forma como os grandes fabricantes de *hardware* para a indústria se vão adaptar aos avanços das empresas tecnológicas irá determinar as tendências da evolução da automação industrial nos próximos anos.

Uma das vantagens da utilização de servidores *web* prende-se com o acesso à base de dados, recurso essencial em qualquer aplicação SCADA, o qual é realizado recorrendo a serviços *web* executados no respetivo servidor, com vantagens claras ao nível da uniformização de acessos e da segurança. Além de ser possível utilizar as mesmas instruções que estão armazenadas e acessíveis no servidor *web*, as aplicações clientes já não precisam de possuir *passwords* para aceder às bases de dados (Turc, 2015).

De uma forma geral os programas SCADA são dispendiosos, o seu custo depende do número de variáveis (*tags*), dos drivers necessários para comunicar com os PLCs e das funcionalidades disponíveis. Em alguns casos é necessário adquirir o programa de desenvolvimento e posteriormente os *runtimes*, versões que permitem a execução da aplicação e que têm de ser instalados em cada computador em que o sistema vai correr. Quando o SCADA possui um servidor *web* integrado, geralmente a política de preços é diferente e é necessário adquirir o programa de desenvolvimento e não existe limitação sobre o número de clientes que em simultâneo pode estar ligado ao servidor. Em qualquer dos casos, o custo de um SCADA pode facilmente ascender a uns milhares de euros.

Existem alternativas mais económicas, inclusive soluções praticamente gratuitas como a AdvancedHMI, no entanto, implicam necessariamente o conhecimento de alguma programação de computadores em linguagens de alto nível (Visual Basic ou C#), e a utilização de ferramentas de desenvolvimento como o Visual Studio da Microsoft.

Ficam alguns exemplos de programas bastante promissores, em certa medida inovadores, que foram testados no âmbito da pesquisa efetuada, e que não ficam atrás dos grandes nomes geralmente associados aos fabricantes de *hardware*: Cogent datahub, Open Automation Software (OAS) e MyScada. Todos apresentam soluções atrativas e bastante interessantes na componente gráfica, nas capacidades de comunicação e na integração com bases de dados. A evolução caminha claramente para soluções menos pesadas, mais apoiadas em tecnologias *web* e com maior abertura. A indústria 4.0 e a IIot vão alterar as “regras do jogo” e comandar a evolução do mercado. Como refere (Hope, 2017), vice-presidente da OPC Foundation, os

produtos de *hardware* tenderão cada vez mais a ser diferenciados no mercado apenas com base nas características que possuem. O OPC UA (ponto 2.4), compatível com as principais marcas de hardware, desempenhará um papel determinante nesta evolução de novos programas SCADA, os quais tenderão a ser mais abertos, mais amigáveis para os utilizadores, e orientados para as tecnologias *web* e tecnologias móveis.

Uma das grandes vantagens dos SCADAs desta nova geração prende-se com o facto de não necessitarem de grandes recursos para serem utilizados. Qualquer um dos programas mencionados possui um ficheiro executável de apenas algumas dezenas de megabytes e instala-se rapidamente em apenas alguns minutos. Todos possuem capacidade de integração com bases de dados SQL e permitem efetuar o *data logging* diretamente para uma base de dados através de uma ligação ODBC (Open Database Connectivity).

2.8 Indústria 4.0 e tendências

O conceito de Indústria 4.0 foi cunhado pelo governo Alemão em 2011, na feira anual de automação industrial em Hannover (Rüttimann & Stöckli, 2016), como fazendo parte de uma estratégia com uma forte componente tecnológica para manter a liderança da Alemanha ao nível industrial (Chen, Tai, & Chen, 2017). Em certa medida é possível afirmar que a Indústria 4.0 representa uma visão política para a indústria. O seu desenvolvimento em torno da indústria automóvel alemã, constituída essencialmente por grandes empresas, coloca alguma reserva na sua aplicabilidade às pequenas e médias empresas. A tese de (Masdefiol, 2016) reflete estes receios em relação à indústria sueca e identifica as principais barreiras à sua implementação. Muitas empresas aplicam tecnologias e conceitos associados à Indústria 4.0 sem possuírem a verdadeira consciência desse facto e nesse sentido a futura implementação da Indústria 4.0 é mais uma evolução do que uma revolução.

Tecnicamente, a transformação industrial proporcionada pela Indústria 4.0 baseia-se nos conceitos de produção inteligente tendo como elementos centrais a automação, as máquinas inteligentes e o processamento de dados (Chen, Tai, & Chen, 2017). Segundo (Schlötzer, 2015) as Fábricas Inteligentes (*Smarts Factories*) associadas à Indústria 4.0 serão altamente automatizadas, conectadas, flexíveis e ajustáveis, mesmo em unidades industriais de produção em massa.

Ao contrário das outras revoluções industriais (figura 19), a Indústria 4.0 não assenta em nenhuma tecnologia revolucionária associada a uma descoberta científica de rutura (Rüttimann & Stöckli, 2016), mas antes reflete uma tendência para a introdução do Cyber Physical Systems (CPS) nos sistemas de produção, criando modelos virtuais das unidades produtivas que auxiliam nos processos de decisão (Arvind, 2016).

Os conceitos de Cyber Physical Systems (CPS), ou mais concretamente Cyber-Physical Production System (CPPS) numa perspectiva industrial, e a tecnologia da Internet of Things (IoT) estão intimamente relacionados e constituem dois pilares essenciais da Indústria 4.0.

O conceito de CPPS emerge da integração de computadores, dispositivos inteligentes, pessoas e ambientes físicos quando conectados por uma infraestrutura de comunicação (Ochoa, Fortino, & Fatta, 2016). No trabalho de (Thiede, Juraschek, & Herrmann, 2016), o CPS é descrito como uma tecnologia com capacidades computacionais e físicas combinadas com a possibilidade de interação humana. A interligação entre a realidade física com a correspondente representação virtual, ou modelo “*cyber*”, cria um enorme potencial de aplicações que pode ser explorada no sentido de otimizar processos.

A IoT, ou mais especificamente a IIoT (*Industrial Internet of Things*) é uma rede complexa, auto configurável e adaptativa que faz a ligação entre dispositivos e a internet, através da utilização de protocolos de comunicação standard. Os dispositivos são identificados individualmente e possuem uma representação real e outra virtual no mundo digital (Gronau, Ullrich, & Teichmann, 2017).

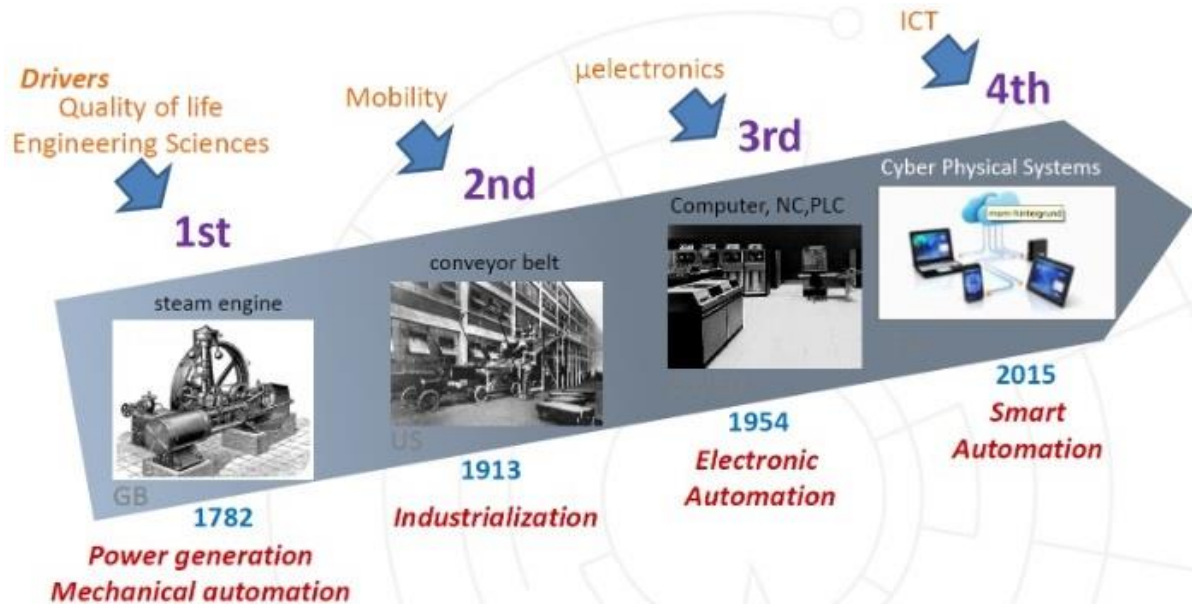


Figura 19: A 4ª Revolução Industrial - Indústria 4.0

O sistema de produção é constituído pelos componentes físicos (máquinas, ferramentas, materiais, etc) e pelos componentes virtuais (modelos de simulação, análise de dados, etc) e ambos constituem o sistema produtivo com os quais os operadores podem interagir. A conexão e comunicação entre o mundo real e o mundo virtual (*cyber world*) reside na aquisição de dados do mundo físico para o mundo *cyber* e do feedback deste para a realidade física. Apesar das implicações e limitações tecnológicas, de algumas desvantagens relacionadas com a adaptação e segurança dos operadores, as vantagens da aplicação desta tecnologia são evidentes, ao ponto de atualmente ser reconhecida como uma das principais tendências na indústria e um dos pilares da indústria 4.0 (Thiede, Juraschek, & Herrmann, 2016).

A possibilidade de possuir um modelo virtual CPS, continuamente atualizado no tempo, abre um mundo de perspetivas sobre a gestão de processos. Na cerâmica estrutural em particular, onde predomina a produção em massa e em grandes séries, a gestão do fluxo de materiais no espaço fabril, juntamente com a necessidade de gerir os processos térmicos ao longo do ciclo semanal, será extremamente beneficiada com a introdução destes conceitos. Ao nível da gestão diária da unidade fabril, a existência de um modelo virtual CPS que reflita o estado do processo, no que respeita à movimentação de materiais, juntamente com a possibilidade de explorar simulações para antecipar possíveis cenários, representa uma mais valia enorme pelo acréscimo de fundamentação que acrescenta nos processos de tomada de decisão, tendo em vista a gestão de recursos e otimização de processos.

Os CPPSs essencialmente utilizarão os sistemas de supervisão SCADA para controlar e monitorizar as infraestruturas críticas (Sajid, Abbas, & Saleem, 2016). Futuramente, os programas SCADA tenderão gradualmente a integrar mais funções associadas aos sistemas CPS. Atualmente, os SCADAs permitem controlar e interagir com os processos em tempo real e acompanhar o estado dos sistemas com base em animações que refletem a realidade. Acrescentando os conceitos associados à inteligência de processos, onde a análise de dados e

os algoritmos de aprendizagem desempenham um papel fundamental, chega-se ao conceito de Fábrica Inteligente onde a Inteligência Artificial (AI) possui um papel determinante.

Num plano diferente, uma discussão sobre a integração da Indústria 4.0 e as técnicas de produção *Lean*, interpretação Ocidental do TPS (*Toyota Production System*), coloca em evidência algumas dificuldades para compatibilizar os dois conceitos (Rüttimann & Stöckli, 2016). Os autores defendem que essas dificuldades estão relacionadas com uma interpretação por vezes redutora da produção *Lean*, encarada apenas como uma caixa de ferramentas que disponibiliza um conjunto de técnicas úteis, sem a percepção de que se trata de uma teoria de produção mais abrangente, que permite criar sinergias e inclusive ser modelada matematicamente. Os autores concluem que apesar do potencial das técnicas de computação e tecnologias associadas à Indústria 4.0, estas não podem nunca avançar contra as restrições dos sistemas produtivos. Deste modo, a correta aplicação da Indústria 4.0, juntamente com o modo de integração do CPPS na teoria *Lean* representam questões fundamentais para o eventual sucesso neste processo de integração.

Esta questão também é abordada no artigo de (Kolberg & Zühlke, 2015), onde apresentam uma possível arquitetura para a integração da produção *Lean* com a Indústria 4.0. Neste caso os autores referem que o conceito de *Lean Automation*, que combina as tecnologias de automação com a produção *Lean*, adquiriu novas possibilidades no contexto da Indústria 4.0 e que as características da produção *Lean*, como a transparência, simplicidade e normalização de processos, conduzem a um contexto de menor complexidade e mais favorável à aplicação da Indústria 4.0.

Apesar de todo o potencial da Indústria 4.0 e do avanço inquestionável de uma evolução no sentido das fábricas e processos inteligentes, estamos perante uma transformação profunda e que envolve praticamente todas as áreas das organizações industriais. Como tal, ainda é necessário muito trabalho na construção de um caminho até garantir a aplicabilidade dos principais conceitos associados à Indústria 4.0, tais como o CPS e a sua interligação com IoT. Em Portugal, onde as pequenas e médias empresas predominam, será sempre necessário estudar alternativas que possibilitem uma aplicação faseada ou mesmo parcial destes conceitos. Uma grande parte das indústrias não possui ainda um sistema de supervisão ou qualquer outra ferramenta que possibilite um acompanhamento da produção em tempo real. Seria importante, tal como no estudo realizado por Masdefiol sobre a indústria sueca, que se realizasse uma pesquisa semelhante sobre a indústria nacional ao nível sectorial, para se compreender qual a nossa capacidade para absorver os conceitos da Indústria 4.0.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Cerâmica Amaro de Macedo é uma empresa fundada na primeira metade do século XX, mais concretamente em 1929, numa época em que a industrialização ainda dava os primeiros passos na região norte do país. Localizada no Vale do Cávado, região com tradição no fabrico de produtos cerâmicos desde a antiguidade, utiliza a argila local como fonte principal de matéria-prima para o seu fabrico. Criada inicialmente em conjunto com uma unidade de serração de madeira, entretanto descontinuada, para o aproveitamento da serradura como fonte de energia para cozer os materiais cerâmicos no forno, desempenhou um papel importante no desenvolvimento da região do Minho, e sempre beneficiou de uma continuidade assegurada por uma gestão familiar que prevaleceu até aos dias de hoje.

Atualmente a empresa labora em 2 turnos e possui 25 funcionários diretamente ligados à produção. Além dos 6 funcionários necessários para operar os equipamentos em cada turno e dos 4 forneiros para assegurar o trabalho em contínuo do forno, a restante estrutura é constituída por outros profissionais, associados às áreas de preparação de combustíveis, exploração de matérias primas, logística, manutenção e qualidade. O organigrama da empresa é apresentado a seguir na figura 20.

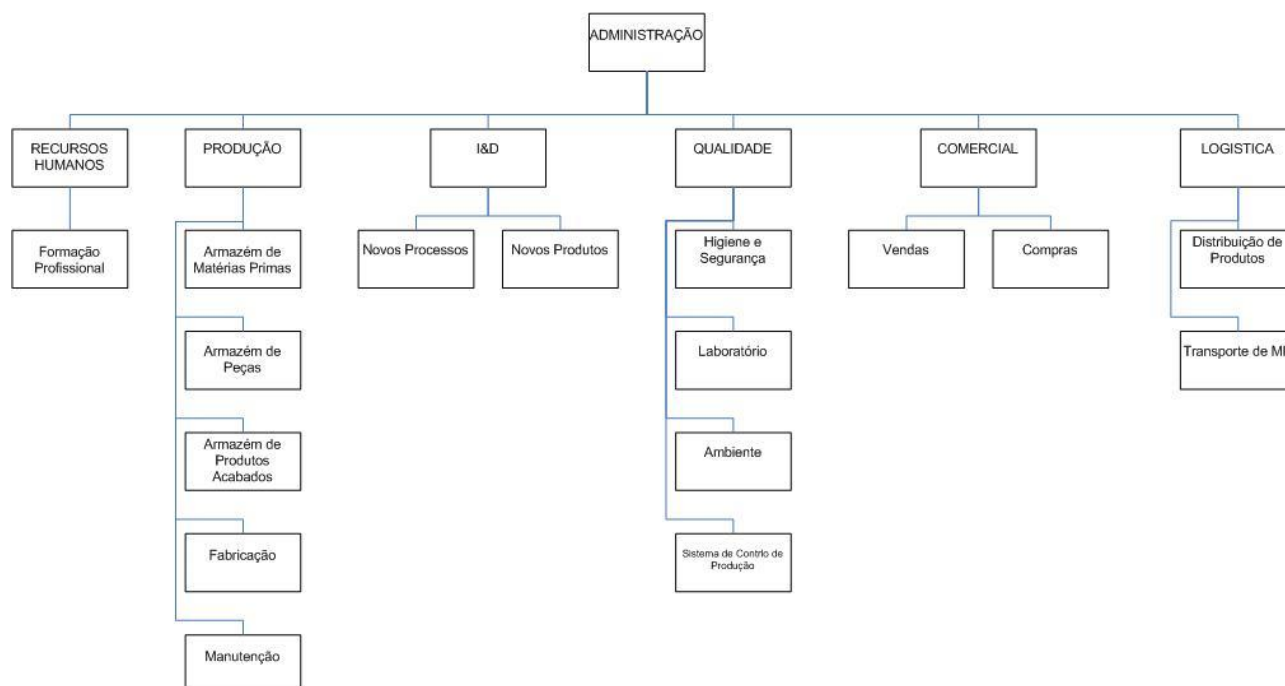


Figura 20: Organigrama

Após um período de forte crescimento, que culminou em 2010 com uma faturação de 1.873.000€, associado a uma produção anual de tijolo de 78.000 toneladas, seguiu-se um período de forte redução das vendas, que em 2014 atingiu o valor mínimo de 1.250.000€. Desde essa altura a recuperação tem acontecido de forma lenta, mas gradual e em 2016 o volume de faturação atingiu o valor de 1.384.577€, o que representa um crescimento de 6,6% em termos homólogos. Como este ano, em função do aumento da produção e vendas de abobadilha, as vendas globais de produtos têm crescido a um ritmo superior a 10%, espera-se que em 2017 seja possível ultrapassar o valor de 1.500.000€, respeitantes a 55.000 toneladas de material. Desse volume de negócios cerca de 40% resultarão diretamente das vendas de abobadilha.

3.1 A evolução da automação na empresa

Por ser uma unidade industrial que foi crescendo e evoluindo ao longo dos anos, a sua instalação apresenta alguns constrangimentos no que respeita ao espaço fabril, obrigando a uma exigência acrescida e a algum engenho sempre que é necessário a instalação de novos equipamentos. No restante, todo o processo de fabrico obedece às melhores práticas do sector, com um *layout* (figura 21) orientado para agilizar o fluxo de materiais nas diferentes fases de produção.

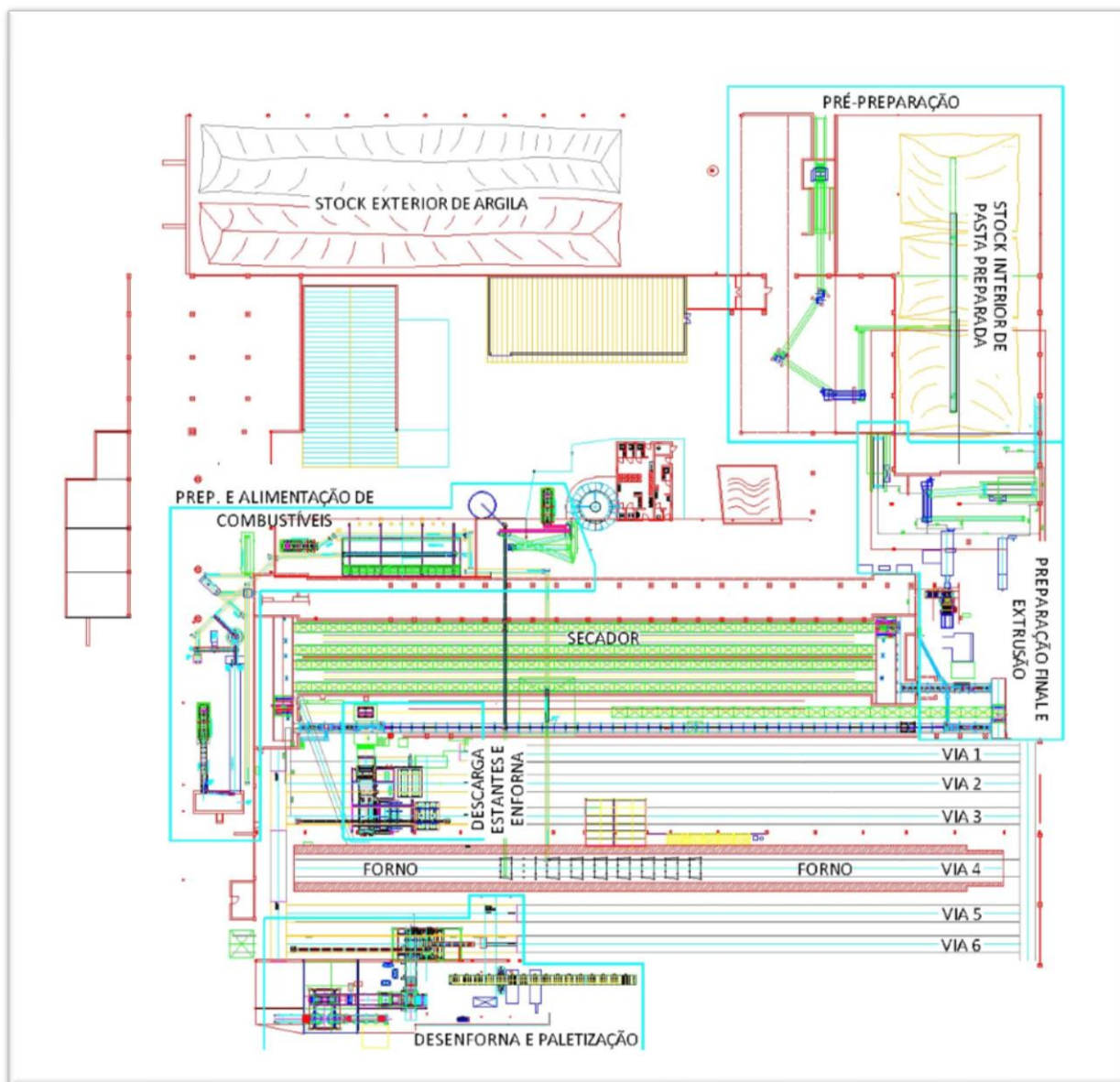


Figura 21: Layout geral

Nos primeiros anos da sua atividade, a telha chegou a fazer parte da sua gama de produtos, mas as características da matéria prima local, pouco plástica e muito porosa, colocaram limitações ao seu fabrico e a partir dessa altura a empresa concentrou a sua produção apenas no tijolo de furação horizontal e na abobadilha, esta última aplicada nas lajes aligeiradas.

Assim permaneceu até o início da década de 80, altura em que realizou um conjunto de investimentos que modernizaram as suas instalações, com a construção do forno túnel e do

secador semi-contínuo. Era o início da mecanização de processos, assente numa automação ainda muito ineficiente e baseada na tecnologia de comandos a relés. Apesar dos primeiros controladores lógicos programáveis terem surgido em finais dos anos 70 nos Estados Unidos, Portugal ainda estava numa fase onde a lógica do funcionamento de um sistema automático era implementada com relés de comando, o que dificultava imenso a automatização de processos. Na cerâmica estrutural, onde apesar de tudo os sistemas possuíam alguma complexidade, a falta de quadros técnicos, capazes de dominar a tecnologia de automação era um fator muito limitativo da eficiência dos sistemas instalados.

O primeiro autómato da empresa foi montado em finais dos anos 80, nas máquinas de enforna e desenforna de tijolo, por uma empresa Catalã pertencente a um grupo já extinto. Além de fabricar máquinas para a cerâmica, possuía uma divisão de eletrónica que desenvolvia os seus próprios PLCs, que instalou em várias cerâmicas espalhadas pela península ibérica. Esses autómatos representaram uma evolução tecnológica apreciável na medida que permitiam uma automação mais sofisticada e ajustada às necessidades de uma indústria em grande expansão, como era o caso da cerâmica estrutural. O programa de instruções da máquina tinha de ser gravado numa memória EPROM¹² através de uma consola portátil, o que limitava sobremaneira qualquer alteração posterior ao sistema, e em caso de avaria obrigava a paragens sempre prolongadas.

A rigidez dos equipamentos instalados obrigou a empresa a optar pelo tijolo normal e a desistir da produção de abobadilha. Desde o início dos anos 90 até 2016 a firma dedicou-se exclusivamente ao fabrico do tijolo. Nesse intervalo de tempo, os investimentos foram direcionados para outras áreas e focados na renovação de alguns sistemas e na melhoria da eficiência de processos, desde a pré-preparação de argilas, preparação de combustíveis, movimentações das estantes do secador e automatização completa do controlo do forno e secador, entre outros. O passo seguinte foi a instalação de um sistema de supervisão, desenvolvido pela empresa, essencial para se otimizar os processos térmicos de secagem e cozedura do material. Gradualmente, outros sistemas foram sendo substituídos ou renovados e foi criada uma rede de campo em Modbus Plus (MB+) que permite a comunicação com o sistema de supervisão. Atualmente existem 8 autómatos ligados em rede, que comunicam com o sistema de supervisão por intermédio de um OPC, uns através da rede de campo e outros mais recentes com comunicação por Ethernet TCP/IP, partilhando a informação com o sistema de supervisão e permitindo assim controlar toda a unidade industrial.

3.2 Descrição do processo produtivo

O fluxograma do processo é apresentado na figura 22, onde é possível, juntamente com o *layout*, obter uma ideia geral do processo de fabrico e das principais etapas que o compõem. Inicialmente, o fluxo de material é contínuo e consiste numa pasta que resulta de uma mistura de argilas transportada em tapetes entre as diferentes operações. Com a extrusão e corte do material na preparação final, o fluxo de material passa a ser constituído por peças cerâmicas (unidades discretas), que percorrem as restantes etapas do processo. Verifica-se a coexistência de dois produtos com naturezas diferentes, natureza de processo e natureza discreta segundo a classificação de (Carvalho, 2003). A partir deste ponto todos os equipamentos e sistemas de produção têm de estar preparados para trabalhar com os vários modelos de peças, que diferem nas dimensões dentro de uma família de produtos e na geometria entre diferentes famílias. Paralelamente, a preparação de combustíveis (biomassa e coque) representam dois processos

¹² Erasable Programmable Read-Only Memory

também sequenciais e de fluxo contínuo, que ocorrem em simultâneo e destinam-se a alimentar os queimadores do forno após um conjunto de operações de doseamento, secagem e moagem.

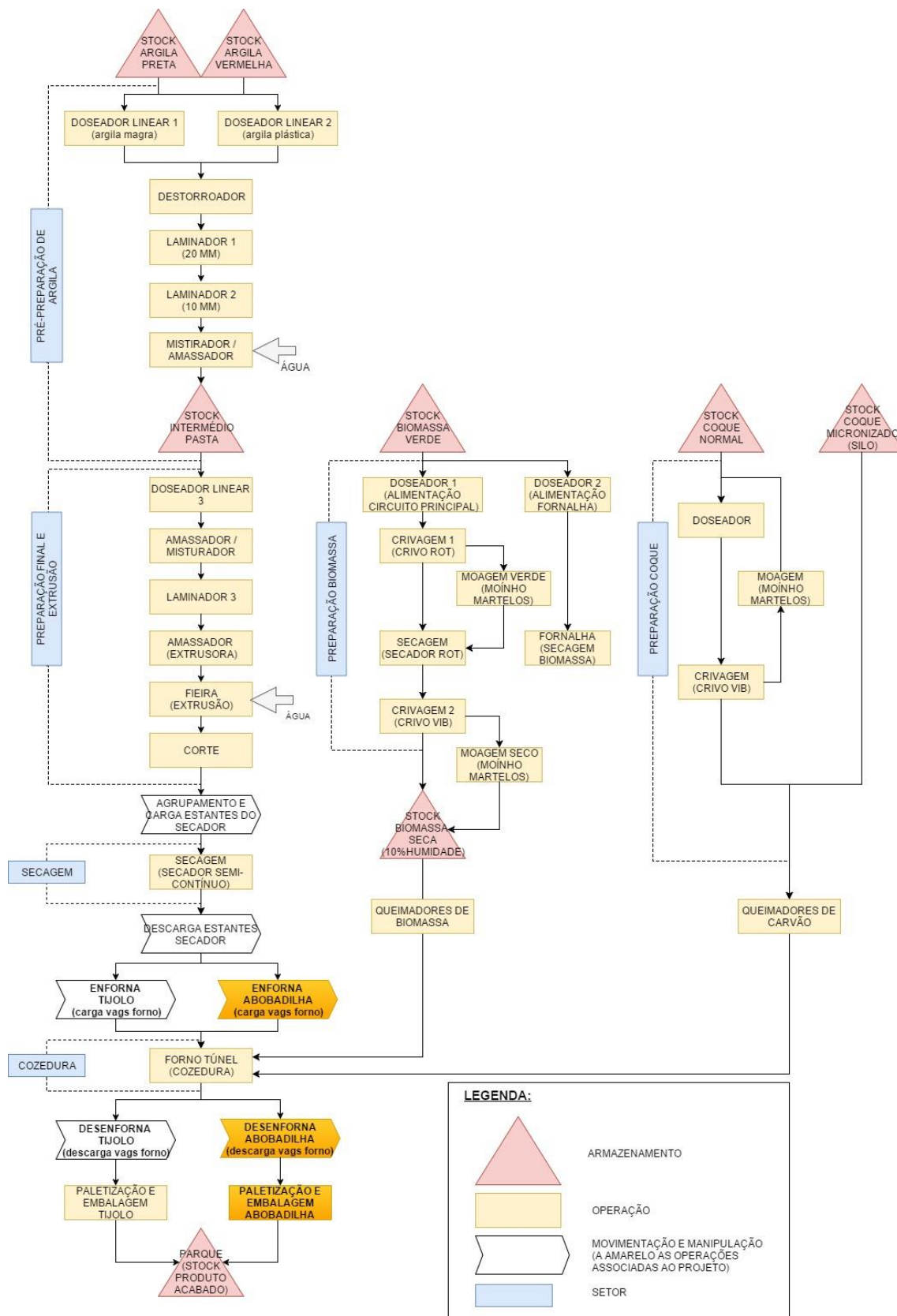


Figura 22: Fluxograma do processo produtivo

Tudo começa no armazenamento exterior das várias argilas, efetuada sazonalmente nas épocas mais secas do ano, com uma capacidade suficiente para abastecer a produção ao longo de todo o ano. A primeira etapa do processo, a pré-preparação, serve para preparar a pasta, uma mistura de argilas com diferentes qualidades, que é armazenada num *stock* intermédio onde permanece aproximadamente uma semana. Dois doseadores, um destorroador, dois laminadores e um misturador onde é acrescentada água sempre que necessário, fazem parte desta fase do processo, e visam garantir uma pasta de qualidade e o mais uniforme possível, duas características críticas no fabrico de materiais cerâmicos. Sem essa regularidade, as variações do comportamento do material nas operações seguintes de extrusão, secagem e cozedura, podem comprometer a qualidade do produto e inviabilizar o controlo do processo industrial quando estão em causa grandes volumes de produção. O processo de deposição da pasta no stock de argila preparada, foi desenhado no sentido de atenuar as variações de humidade e plasticidade que inevitavelmente ocorrem na argila. A deposição é realizada por um transportador em movimento alternado e a recolha ocorre numa direção perpendicular segundo um corte vertical, assegurando que as características do material recolhido variam o menos possível ao longo do tempo.

Seguidamente, essa mistura de argila - eventualmente pode ser adicionado neste ponto do processo alguma argila mais plástica para corrigir a qualidade do material base - é recolhida e colocada num doseador linear que alimenta a fase seguinte do processo na área identificada no *layout* como preparação final e extrusão. Depois de passar por mais um misturador e de sofrer uma laminagem final, a pasta é encaminhada para a fieira, uma das máquinas mais determinantes na qualidade do produto final. Esta, com os seus 215 KW de potência, realiza a extrusão da pasta através de moldes apropriados que variam em função do modelo de peça a fabricar. Imediatamente após a extrusão, o material é cortado e agrupado em conjuntos para formar pisos de peças com dimensões adequadas às estantes do secador onde são posicionadas por um carregador automático.

A operação de secagem é realizada ao longo de aproximadamente 24 horas, num secador semi-contínuo (ritmo de carga variável ao longo do dia em função dos turnos de trabalho) com recirculação interna de ar, com uma capacidade para 152 estantes com 10 pisos cada, distribuídas em 4 vias, o equivalente a cerca de 50.000 peças no fabrico de tijolo. A secagem processa-se em contracorrente, com o avanço do material em sentido contrário ao movimento do fluxo de ar quente, permitindo uma variação gradual da humidade e temperatura ao longo do secador, algo essencial para assegurar uma secagem controlada e conseguir evitar fissuras nas peças em resultado da retração do material. Todo o sistema trabalha automaticamente, a movimentação das estantes ao longo do circuito, o controlo da ventilação do secador e a recuperação de calor da zona de arrefecimento do forno, por forma a manter as temperaturas, pressões e humidades mais adequadas no interior do secador.

Na saída do secador, o material é descarregado das estantes e colocado nas vagonas do forno, carros com uma estrutura em aço e um isolamento em material refratário na parte superior, apropriado para aguentar as elevadas temperaturas de cozedura que podem chegar a atingir os 1000°C. Esta operação, usualmente denominada de enforna, obriga à movimentação e manipulação das peças no estado seco, o que exige um cuidado acrescido devido à baixa resistência mecânica que as mesmas apresentam nesta fase do processo. O empilhamento das peças nas vagonas do forno tem de obedecer a requisitos impostos pelo processo de cozedura, um espaçamento entre peças adequado para passagem do fogo, e assegurar um travamento das peças para garantir a estabilidade suficiente dos pacotes e permitir a movimentação das vagonas, dentro e fora do forno.

Uma parte deste trabalho consiste no projeto e automação desta fase do processo para o fabrico de abobadilha, a qual exige um conjunto de máquinas para movimentação e

manipulação distinta da do tijolo de furação horizontal, por razões que se prendem com a geometria e resistência das peças, mas também com a disposição do material na cozedura.

Depois de colocado nas vagonas do forno, o sistema responsável pela sua movimentação encaminha o material antes, durante e depois do processo de cozedura, até entregar as mesmas com o material já cozido, à desenfora.

As vagonas com material seco e pronto a ir ao forno circulam pelas 6 vias do sistema de movimentação de vagonas do forno. O forno opera em regime contínuo (24 horas e 7 dias por semana) e situa-se na via 4, as outras vias destinam-se a acumular material para assegurar a produção do forno nos turnos em que a linha de fabrico está parada, sendo as primeiras 3 vias para acumular material para alimentar o forno, enquanto que as vias 5 e 6 destinam-se a acumular o material já cozido para desenforar e paletizar na última fase do processo.

O processo de cozedura ocorre num forno túnel com 90 metros de comprimento e uma câmara de cozedura com a largura de 3,6 por uma altura de 1,5 metros, dimensões que definem a largura e altura dos pacotes constituídos pelas peças cerâmicas enforadas. O forno túnel, tecnologia que surgiu na Europa no final da década de 1960 para substituir os fornos de fogo móvel ou fornos Hoffmann, sofreu uma grande evolução ao longo dos anos e continua a ser o estado da arte na cozedura da cerâmica estrutural. Novos materiais de isolamento e alterações no desenho de construção, mas fundamentalmente o controlo automático de todo o processo a partir dos anos 90, proporcionaram uma evolução muito significativa na eficiência do funcionamento neste tipo de fornos. Basicamente, um forno túnel é um canal retilíneo com um chão móvel formado pelas vagonas que transportam o material ao longo do forno (Facincani, 1992), fazendo avançar o material pelas 3 zonas do processo, pré-aquecimento, cozedura e finalmente a zona de arrefecimento, onde o calor é recuperado para o secador. O material avança em impulsos cujo intervalo de tempo determina o ritmo de produção do processo.

Na cerâmica em questão, tanto o forno como o secador trabalham de forma combinada, uma vez que o calor utilizado no secador é todo recuperado da zona de arrefecimento do forno. O controlo de ambos os sistemas funciona de forma totalmente automática e integrada, e assenta num sistema composto por 2 autómatos ligados em rede e comandados por um programa de supervisão, especialmente desenvolvido na empresa para o efeito. Além de permitir a visualização *online* das curvas de cozedura e secagem, o programa de supervisão funciona também como entrada de dados, permitindo carregar e ajustar os programas de cozedura sempre que necessário, em função do tipo de peça a cozer e do ritmo de produção que se pretende imprimir ao forno.

3.3 A importância da automação no processo produtivo

A automação industrial na cerâmica estrutural está presente em todas as fases do processo, desde a preparação da argila até à colocação em parque do produto acabado. As exigências de competitividade numa indústria caracterizada pela produção de grandes séries impulsionaram fortemente essa automação.

Uma empresa bem automatizada e um controlo efetivo das principais variáveis de processo são importantes em todas as indústrias, mas na cerâmica é uma questão de sobrevivência. A preparação e a extrusão de argila implicam um elevado consumo de energia elétrica e os processos térmicos de secagem e cozedura implicam um consumo intensivo de combustíveis, biomassa e coque. A energia elétrica, combustíveis para o forno e mão de obra representam mais de 70% das despesas operacionais de uma cerâmica, não existindo espaço para a ineficiência de processos. Para movimentar as dezenas de milhares de peças que todos os dias

circulam no espaço fabril, são necessários sistemas de movimentação totalmente automatizados, equilibrados com a capacidade da instalação e que não coloquem em causa a integridade e qualidade das peças. Apesar de não acrescentarem valor ao produto, funcionam como uma espécie de sistema nervoso da unidade fabril, interligando as várias fases do processo produtivo e desempenham um papel insubstituível para atingir os níveis de produtividade necessários para rentabilizar a cerâmica.

3.4 O contexto que conduziu à necessidade de um novo sistema para a produção de abobadilha

O investimento surge como uma resposta da empresa a uma crise prolongada da construção civil, com particular agravamento a partir do ano de 2012, altura em que as vendas de tijolo da cerâmica começam a cair de forma mais acentuada. Com a perspetiva do agravamento da conjuntura, foi necessário tomar uma decisão no sentido de tornar a empresa sustentável para um nível de atividade substancialmente inferior. As vendas de tijolo, na altura o único produto fabricado, estavam a cair cerca de 10% ao ano e dependendo da evolução dos preços do material no mercado, que naturalmente não eram otimistas, o nível de faturação poderia reduzir para cerca de 50%. A forte concorrência impunha uma pressão nos preços que impedia a sua correção para cima por forma a compensar essa redução das vendas. As únicas soluções passavam pela redução de um turno de produção, mantendo a exclusividade do tijolo no seu processo produtivo, ou então avançar com a produção de um material de maior valor acrescentado, no caso a abobadilha, e conseguir um equilíbrio de vendas a um preço médio superior. Por experiência própria e pelo conhecimento do percurso de outras cerâmicas que se dedicavam apenas ao tijolo, e que tentaram como última alternativa a alteração da sua atividade para um turno, havia a consciência que sem uma cogeração, esse caminho implicava perdas de eficiência nos processos térmicos e uma redução nos custos com o pessoal, que agravavam ainda mais o problema. Assim, apenas existia um caminho possível, muito estreito e difícil, e que passava pelo retorno à abobadilha praticamente 25 anos depois do seu fabrico ter sido abandonado, pelas razões técnicas explicadas anteriormente.

O início do fabrico da abobadilha aconteceu em 2012, usando as mesmas linhas de enfora e desenfora de tijolo, com uma enfora das peças nas vagonas do forno “deitadas” ou na horizontal¹³ (figura 23), única solução possível com a linha de enfora de tijolo, e com uma paletização e embalagem realizada manualmente no final do processo. Foi a solução provisória possível, muito longe do ideal, mas essencial para testar o mercado, perceber o respetivo potencial de crescimento e extrair conclusões que foram extremamente úteis para ajudar a definir as especificações técnicas do produto. Permitiu, também, analisar o comportamento da produção de abobadilha nas restantes etapas do processo, comuns a ambos os produtos, nomeadamente nas operações de preparação da argila, extrusão e secagem.

¹³ Com os furos das peças na horizontal. Por vezes também referida como enfora “ao baixo”, em contraste com a enfora “ao alto” onde as peças são dispostas com os furos na posição vertical.

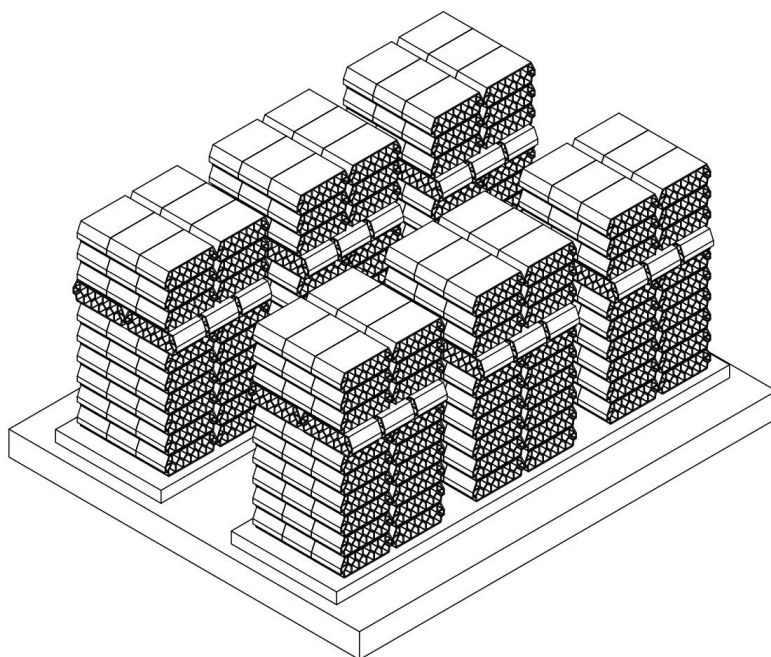


Figura 23: Vagona do forno com 2 estivas (enforna com peças deitadas ou na horizontal)

Apesar destes constrangimentos, as vendas foram crescendo ao ritmo apresentado na tabela 1, com resultados bastante encorajadores e que contribuíram de forma decisiva para solidificar a estratégia da firma a médio e longo prazo.

Tabela 1: Vendas anuais de tijolo e abobadilha em toneladas de material cozido

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
tijolo	70101,6	62517,3	53878,8	45262,0	41785,7	37640,8	37965,8
abobadilha	0,0	0,0	2342,3	7112,1	8821,1	11864,1	13653,0

3.5 Limitações do fabrico da abobadilha antes do projeto e números da produção

As principais limitações da produção de abobadilha antes do projeto, isto é, com o material enforcado na horizontal, podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- i) Reduzido número de peças enforcadas por vagona e consequente subaproveitamento do espaço, diminuindo a eficiência do forno e aumentando dos custos de cozedura;
- ii) Elevada taxa de quebras derivado do empilhamento do material segundo a direção de menor resistência mecânica. Situação agravada com a absorção de humidade do material seco acumulado nas linhas de espera, antes de entrar ao forno. Necessidade do fabrico de peças com paredes de maior espessura, e, por conseguinte, mais pesadas, implicando o aumento dos custos de produção;
- iii) Dificuldade em controlar e travar o fogo na cozedura, com temperaturas mais elevadas nas zonas de pré-aquecimento e no ventilador da chaminé, conduzindo ao crescimento das perdas de energia do processo de cozedura;
- iv) Operações de paletização e cintagem manuais, uma vez que o material é desenforcado na horizontal e paletizado na vertical;

- v) Impossibilidade de produzir grandes lotes. A reduzida resistência mecânica do material enfiado em seco juntamente com o espaço necessário para paletizar o material manualmente, impedem o fabrico de grandes lotes, obrigando à constante troca de fabrico entre a abobadilha e tijolo.

As dificuldades apresentadas têm implicações bastante negativas em todo o processo de fabrico após a secagem, com consequências na gestão da produção e colocam em causa a viabilidade da produção de abobadilha. Todavia, na altura foi a única forma encontrada para permitir à empresa ganhar tempo, enquanto avançava com o investimento dos novos equipamentos.

O limite de capacidade de produção de abobadilha numa semana de trabalho (ciclo semanal) é de 280 toneladas de material cozido. Para se ultrapassar as 12000 toneladas anuais seria necessário fabricar abobadilha todas as semanas o que colocava em causa a normal produção do tijolo.

Ao longo dos 3 anos de produção as quebras na abobadilha situaram-se nos 10%, o que contrasta largamente com o fabrico de tijolo onde não ultrapassam os 3%.

Na perspetiva da produtividade dos recursos humanos, os 3 funcionários para a paletização manual penalizam este indicador, que seguramente pode ser melhorado com os novos equipamentos. Outros índices de produtividade são mais difíceis de analisar porque a produção de abobadilha implicou uma redução na produção de tijolo e como foi referido os dois artigos foram fabricados em simultâneo ao longo dos anos. Como a produtividade é uma medida entre os resultados obtidos e os recursos utilizados, a estratégia em substituir parte do fabrico de tijolo pela abobadilha, pretende exatamente atingir um melhor resultado financeiro com os mesmos recursos, aumentando a produtividade da unidade industrial como um todo. No entanto, este assunto será desenvolvido mais à frente para esclarecer detalhadamente os ganhos de produtividade proporcionados pela mudança de sistema na produção de abobadilha.

3.6 A necessidade de um novo projeto

Em 2014 tornava-se claro que era necessário tomar uma decisão e avançar para um novo projeto. Os sinais do mercado e a experiência de mais de um ano a produzir abobadilha já permitiam reunir um conjunto de argumentos que fundamentavam uma decisão nesse sentido:

- i) As vendas de tijolo estavam a diminuir e as vendas de abobadilha, produto com maior margem financeira, estavam a crescer a um ritmo anual superior a 25%;
- ii) Depois de quase dois anos a fabricar a abobadilha com as máquinas de tijolo, era claro que existia um forte potencial de melhoria do sistema;
- iii) Um novo projeto teria obrigatoriamente de permitir a cozedura do material ao alto, eliminando assim a maior parte dos problemas identificados;

4. PROJETO

Uma vez tomada a decisão de avançar para um projeto adequado ao fabrico da abobadilha, foi preciso estudar as várias alternativas que se colocavam e escolher a solução que melhor respondia às necessidades da empresa do ponto de vista técnico.

Este capítulo consiste na apresentação do projeto e numa descrição o mais detalhada possível das várias etapas do seu desenvolvimento, dividido segundo as diferentes áreas de estudo que compõem o projeto, gestão da produção, mecânica, eletricidade, eletrónica e automação industrial.

Grande parte do processo de conceção e desenvolvimento consiste em encontrar soluções para resolver problemas. Geralmente isso é conseguido recorrendo a diferentes áreas de conhecimento, em que cada uma dá o seu contributo importante para a construção da solução final. A opção de dividir este capítulo por temas destina-se a proporcionar um seguimento mais fácil da parte técnica do trabalho, permitindo uma abordagem mais específica em cada uma das áreas, contudo, e na medida do possível, tentar-se-á estabelecer e apresentar essas ligações ao longo do texto, como forma de proporcionar uma melhor compreensão do processo de desenvolvimento.

4.1 Requisitos e exigências técnicas do projeto

A questão essencial consistia em encontrar uma solução que permitisse produzir a abobadilha com a enfora do material na vertical. Estava fora de questão a aquisição das duas linhas de movimentação inteiramente novas (chave na mão), um investimento incomportável para as possibilidades da empresa. A única forma de baixar os valores do investimento para níveis aceitáveis implicava o desenvolvimento de uma solução interna, apoiada na experiência e conhecimento dos seus profissionais e eventualmente recorrendo a alguns serviços de subcontratação para a execução dos trabalhos de campo, tais como a eletrificação dos quadros, das máquinas e trabalhos de mecânica e serralharia.

Basicamente as exigências ou objetivos que o projeto tinha de cumprir foram os seguintes:

- i) Produção média entre 3 a 4 vagons de material, cerca de 200 toneladas/dia em 15 horas de trabalho (13 toneladas/hora) a curto prazo, com possibilidade de expansão futura para 200 toneladas em 10 horas de trabalho (20 toneladas/hora) a médio prazo;
- ii) Redução da percentagem de quebras para menos de metade da atual, ou seja, inferior a 5%;
- iii) Montagem das linhas em paralelo com a enfora e desenfora de tijolo, permitindo a instalação e colocação em marcha dos equipamentos sem obrigar a paragens na produção;
- iv) *Layout* compatível com o espaço disponível, integração com os sistemas existentes (linhas de enfora e desenfora de tijolo e movimentação de vagons do forno) com garantia de um fluxo de produção linear e sem estrangulamentos;
- v) Redução ao máximo dos tempos de preparação (*setups*) entre modelos de abobadilha a fabricar e nas alterações entre a produção de tijolo e abobadilha;
- vi) Empilhamento de peças na enfora que maximize o número de peças por estiva (uma vagona transporta duas estivas iguais), assegure um espaçamento entre peças

adequado à cozedura do material e uma disposição que garanta a estabilidade das estivas na movimentação das vagonas;

- vii) Paletização de abobadilha compatível com as mesmas paletes de madeira utilizadas no tijolo (1000x920);
- viii) Os sistemas têm de trabalhar de forma totalmente automática, com os operadores a desempenharem apenas tarefas de controlo do processo e qualidade do material;

Existiam duas possibilidades que potencialmente respondiam ao problema, a enfora em pacotes (figura 24) onde cada estiva é dividida em 3 pacotes, e a enfora com pisos maiores que se estendem a toda a largura da estiva (figura 25). Ambas as soluções respeitavam a obrigatoriedade da enfora das peças ao alto, mas representavam abordagens diferentes ao problema, cujas implicações necessariamente conduziam a soluções distintas relativamente à construção dos equipamentos e ao tipo de sistema de enfora a adotar.

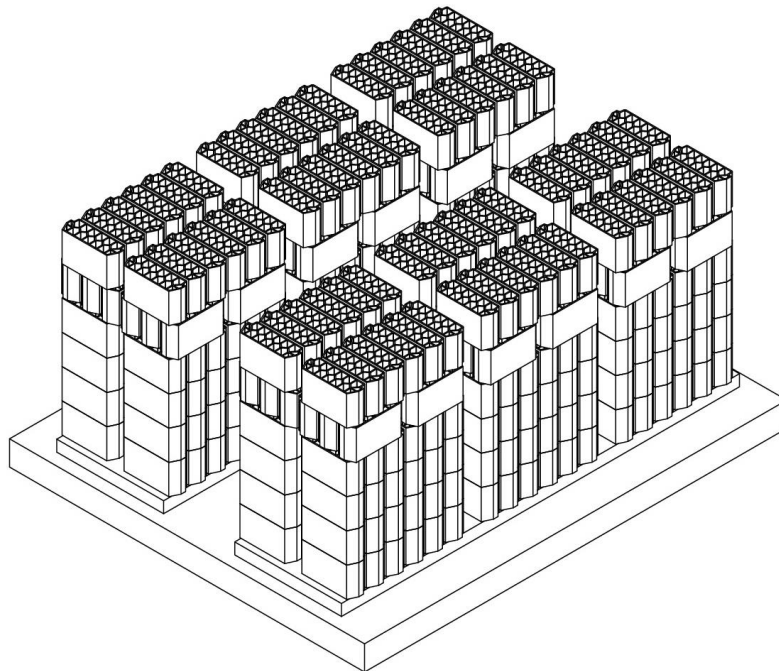


Figura 24: Vagona do forno com 2 estivas (enfora com peças ao alto em pacotes)

Após uma análise cuidada das vantagens e desvantagens de cada uma das soluções, foi possível concluir que a enfora com pisos na largura total da vagona (figura 25), solução mais estudada neste tipo de produção, seria a mais indicada atendendo às necessidades específicas do problema. Além de ser menos dispendiosa, tecnicamente conseguia proporcionar um melhor travamento das peças e permitia o controlo da separação entre peças, condição importante para garantir uma cozedura uniforme das peças.

Por outro lado, a solução da enfora em pacotes implicava a instalação de dois braços robóticos paletizadores, um para a enfora e outro para a desenfora, com capacidade para levantar cargas de 500 kg (aproximadamente 250 kg para a carga e 250 kg para o *ripper* ou pinça). Apesar de possuir vantagens como a maior facilidade de programação e uma maior versatilidade proporcionada pelos braços robóticos, as desvantagens resultantes de uma menor produtividade devido ao menor número de peças movimentadas em simultâneo pela pinça, um travamento e uma cozedura mais deficiente do material, juntamente com a necessidade de realizar um esforço financeiro mais elevado (90.000€ para os 2 robôs sem os *grippers*, os quais teriam de ser projetados e fabricados), condicionaram fortemente esta solução.

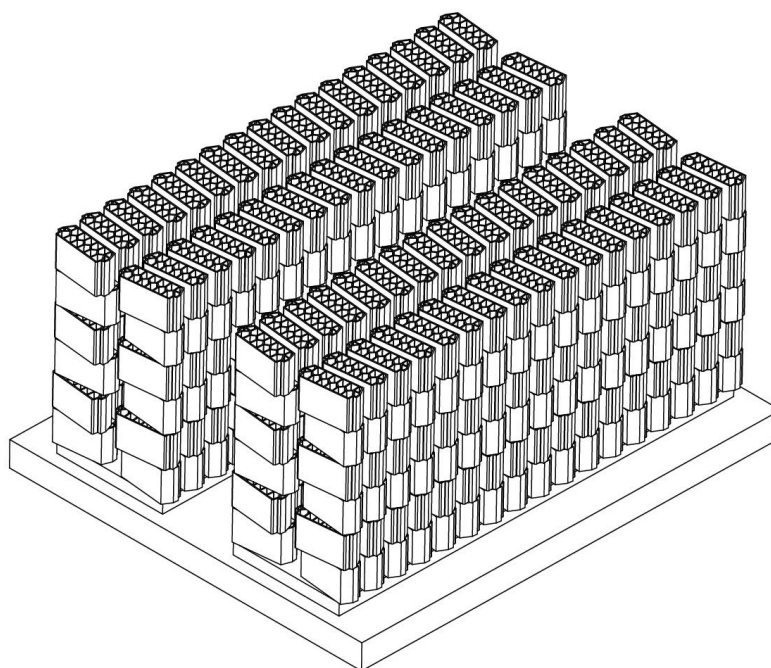


Figura 25: Vagona do forno com 2 estivas (enforna com peças ao alto e pisos a toda a largura com travamento em espinha)

A segunda solução, que acabou por ser a adotada, consiste numa enforna com pisos na largura total da estiva, sem pacotes, como pode ser observado na figura 25. Proporciona um melhor travamento do material, recorrendo ao travamento em espinha das 2 fiadas que formam um piso, garante maiores níveis de produtividade (as pinças de enforna e desenforna apenas têm de realizar 12 movimentos em comparação com os 36 do braço robótico) e proporciona vantagens no processo de cozedura através da variação dos espaçamentos entre peças para passagem do fogo.

4.2 Apresentação e descrição do projeto

Basicamente, é possível dividir o trabalho em duas áreas distintas, uma primeira que envolve toda a tecnologia operacional necessária para garantir o funcionamento efetivo das linhas de produção e uma segunda parte, relacionada com a digitalização e supervisão dos processos, que consiste na criação de uma solução que permite o acompanhamento em tempo real e o acesso a toda a informação da produção.

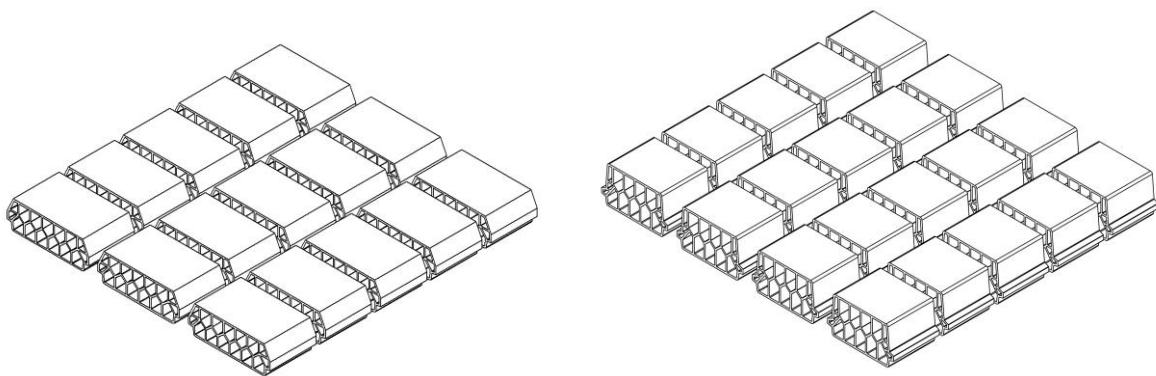
A primeira consiste no projeto de automação de duas linhas responsáveis pela movimentação e manipulação das peças cerâmicas no espaço fabril, tendo em vista a preparação do processo para o fabrico de abobadilha. Inserido nesta parte, para a linha de enforna, está o desenvolvimento do projeto mecânico de todos os equipamentos responsáveis pela movimentação das peças, que inclui várias mesas de rolos e correntes para efetuarem o transporte, agrupamento e rotação do material, assim como os impulsores hidráulicos e um guincho reversível para movimentação e posicionamento das vagonas do forno, nos eixos de carga e descarga. A integração elétrica e mecânica, fundamental para garantir a compatibilidade com os sistemas já existentes, foi uma preocupação que esteve presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento. Esta parte do trabalho fica concluída com o desenvolvimento das aplicações HMIs, elementos absolutamente necessários para operar com os equipamentos e que garantem a autonomia dos sistemas em termos de funcionamento.

A segunda área do trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema de supervisão para apoiar a gestão das operações no espaço fabril, funcionando como uma entrada de dados para

transferir a informação aos autómatos e permitir a visualização das principais variáveis de processo em tempo real. A integração deste programa com uma base de dados em SQL permite, não só o armazenamento em segurança de todos os parâmetros e programas essenciais para o funcionamento das máquinas, que em caso de avaria podem ser imediatamente repostos, mas também proporciona uma recolha e um tratamento automático da informação sobre o processo, relacionada com as áreas de gestão da produção, tais como quantidades fabricadas para cada tipo de produto e níveis de produtividade de ambas as linhas. Como refere (Stenerson, 1999), muita da informação recolhida numa empresa está presente nos controladores lógicos (PLCs) espalhados pelo espaço fabril e a sua disponibilização em formatos acessíveis, além de reduzir muita carga de trabalho, permite eliminar erros relacionados com o preenchimento dos formulários.

A seguir apresenta-se um conjunto de figuras, ordenadas sequencialmente pelas operações do processo, onde é possível verificar as transformações, ao nível da manipulação, que as peças sofrem ao longo do processo e que serve também para clarificar a terminologia utilizada ao longo do resto do trabalho.

Um piso na saída do secador corresponde ao material de uma prateleira das estantes (figura 26), no caso da abobadilha é um grupo com 15 ou 20 peças consoante o modelo. Nesta fase do processo o material não se apresenta alinhado nem agrupado.

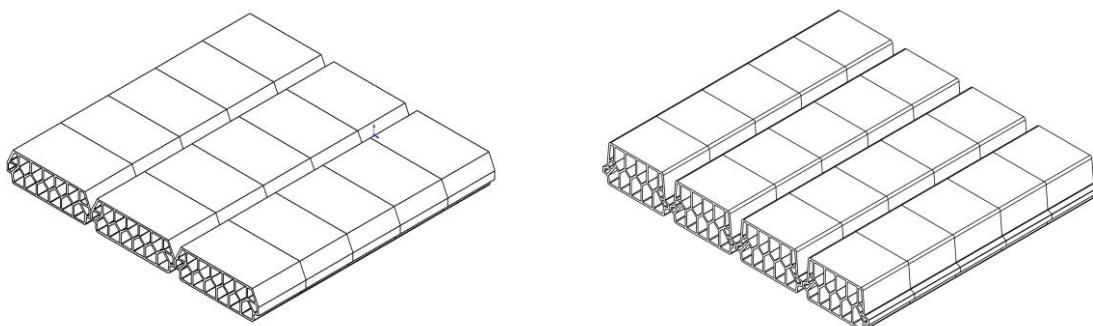


a) Modelos de abobadilha de 40

b) Modelos de abobadilha de 32

Figura 26: Pisos à saída da estante dos secadores

Na figura 27 é possível observar esses mesmos pisos das estantes alinhados e agrupados.

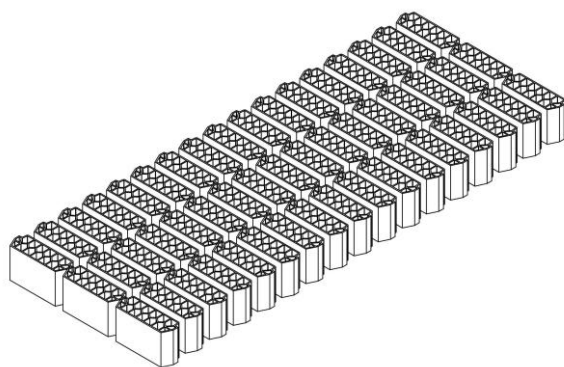


a) Modelos de abobadilha de 40

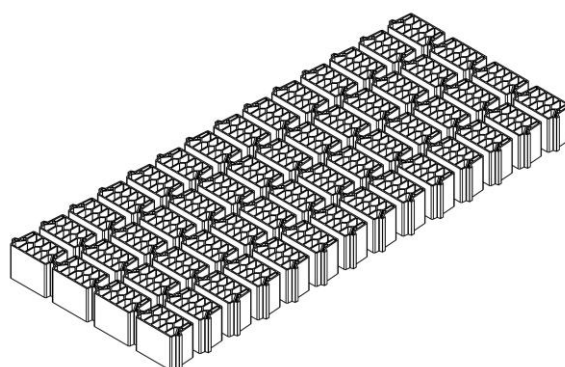
b) Modelos de abobadilha de 32

Figura 27: Pisos à entrada do virador

Na figura 28, após a rotação do material, temos os pisos de entrada, que podem ter 3 ou 4 fiadas consoante o modelo de abobadilha, e onde o número de peças ao comprimento depende da altura da peça e dos espaçamentos entre elas.



a) Modelos de abobadilha de 40



b) Modelos de abobadilha de 32

Figura 28: Pisos de entrada após rotação das peças

A movimentação das peças ao longo da linha da enfora termina com a criação do piso da vagona (figura 29), após a desmultiplicação do piso de entrada.

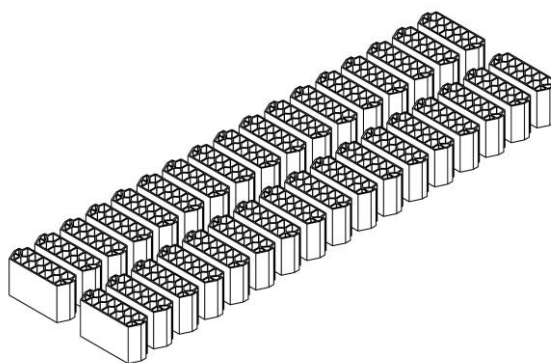


Figura 29: Piso da vagona antes da enfora

Seguidamente, uma pinça pneumática tem de levantar o material e posicionar os pisos por forma a construir uma estiva da vagona do forno (figura 30), formada por 6 pisos e com um travamento em espinha entre os vários pisos para garantir a estabilidade necessária do material em todo o percurso de movimentação, dentro e fora do forno, até à desenfora.

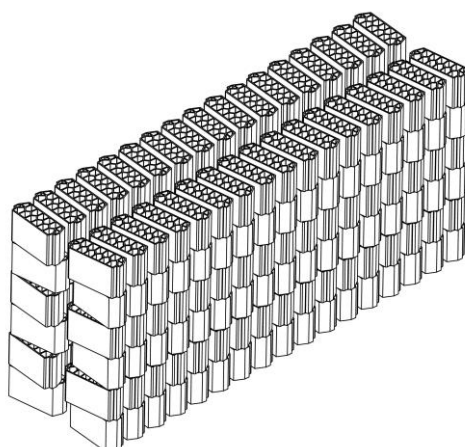


Figura 30: Estiva da vagona do forno (modelos de abobadilha de 32 e 40)

Na segunda linha, descarga de vagons e paletização, o processo inverte-se. O início consiste na descarga dos vários pisos da estiva, que são colocados nas mesas de descarga no início da desenfora de abobadilha (figura 31).

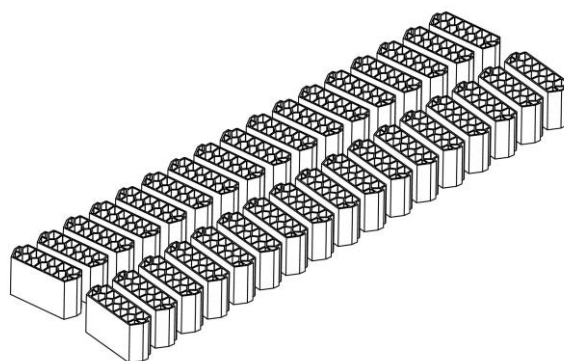
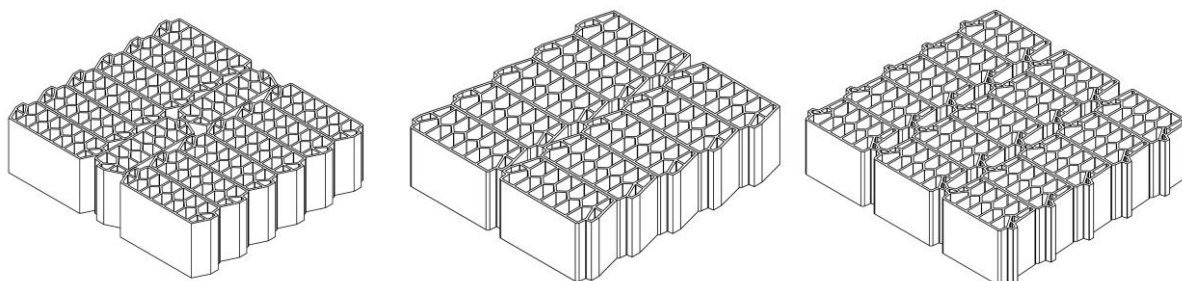


Figura 31: Piso da vagona desenhado (modelos de abobadilha de 32 e 40)

Posteriormente um conjunto de operações faz o agrupamento das peças até obter um piso da paleta cintado, que pode assumir diferentes formatos consoante o material em fabrico (figura 32).



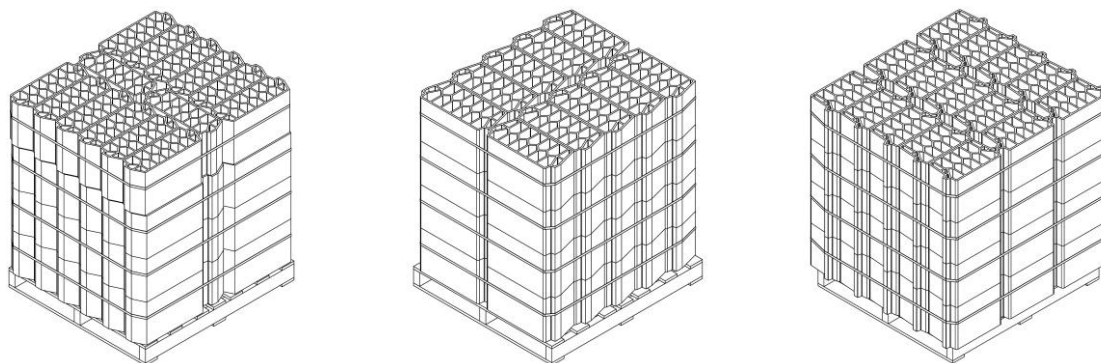
a) Modelos de abobadilha de 40 com fiada cruzada

b) Modelos de abobadilha de 40 sem fiada cruzada

c) Modelos de abobadilha de 32

Figura 32: Pisos da paleta

Finalmente, uma pinça dupla levanta 2 pisos em cada movimento e empilha-os automaticamente nas paletes de madeira até obter uma paleta de produto acabado (figura 33), pronto a ser colocado em parque pelo empilhador que as carrega diretamente da linha de produção. Como os vários modelos possuem dimensões diferentes é necessário que o sistema esteja preparado para alterar a sequência de trabalho por forma a conseguir que cada piso de material possua as dimensões mais adequadas à área útil da paleta de madeira.



a) Paleta de abobadilha de modelos de 40 com fiada cruzada

b) Paleta de abobadilha de modelos de 40 sem fiada cruzada

c) Paleta de abobadilha de modelos de 32

Figura 33: Paletes finais na linha da desenhada

4.3 Layout da linha de enforma de abobadilha

Na figura 34 temos o *layout* da linha de enforma de abobadilha, onde é possível observar as diferentes mesas que foram projetadas, e que fazem a movimentação do material desde o piso da estante (figura 26) até construir o piso da vagona (figura 29)

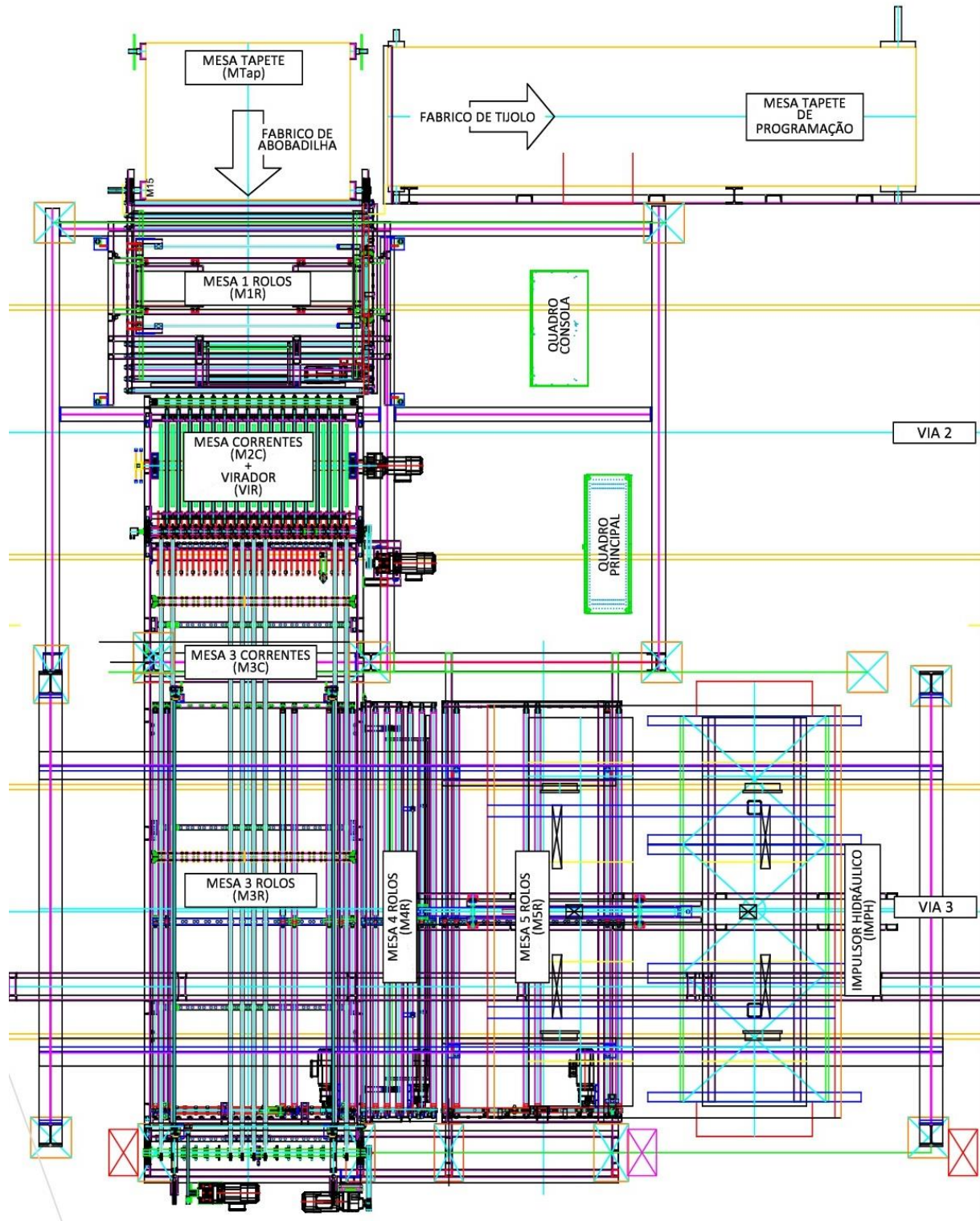
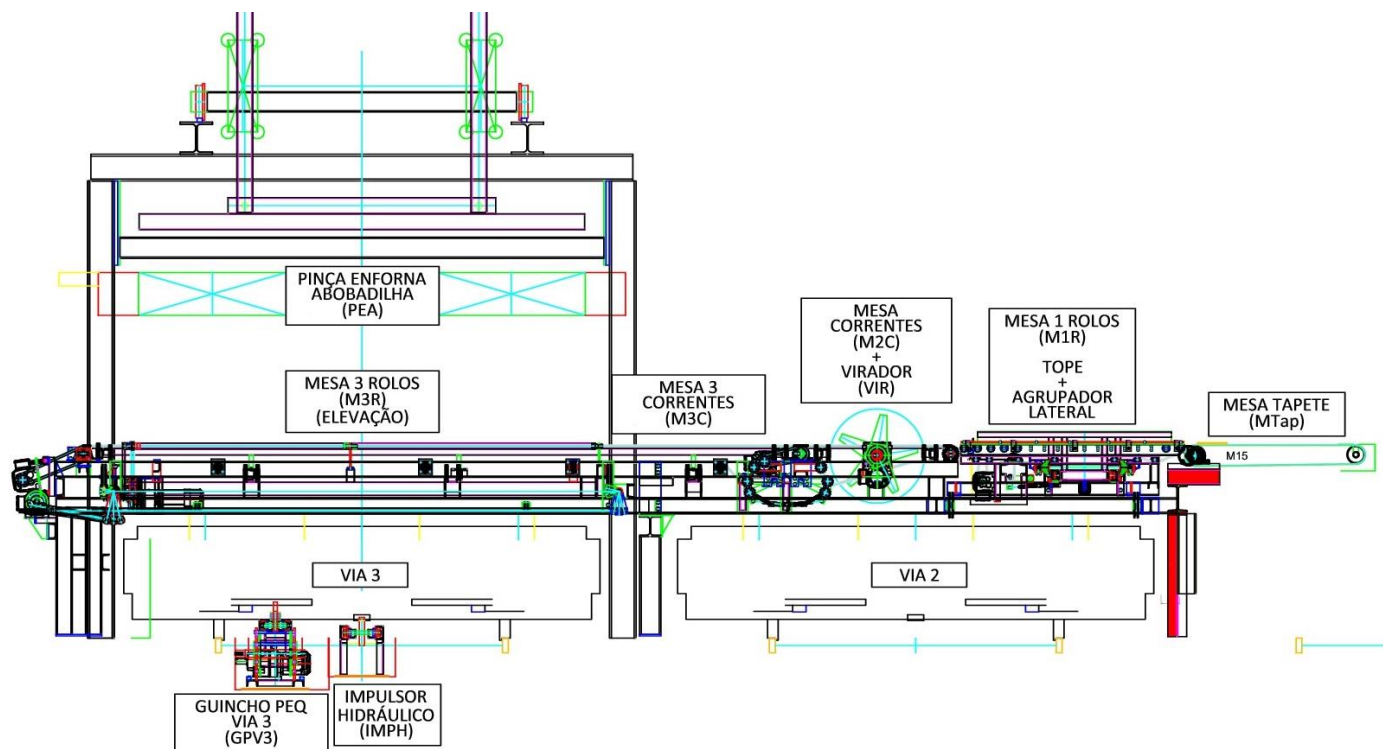
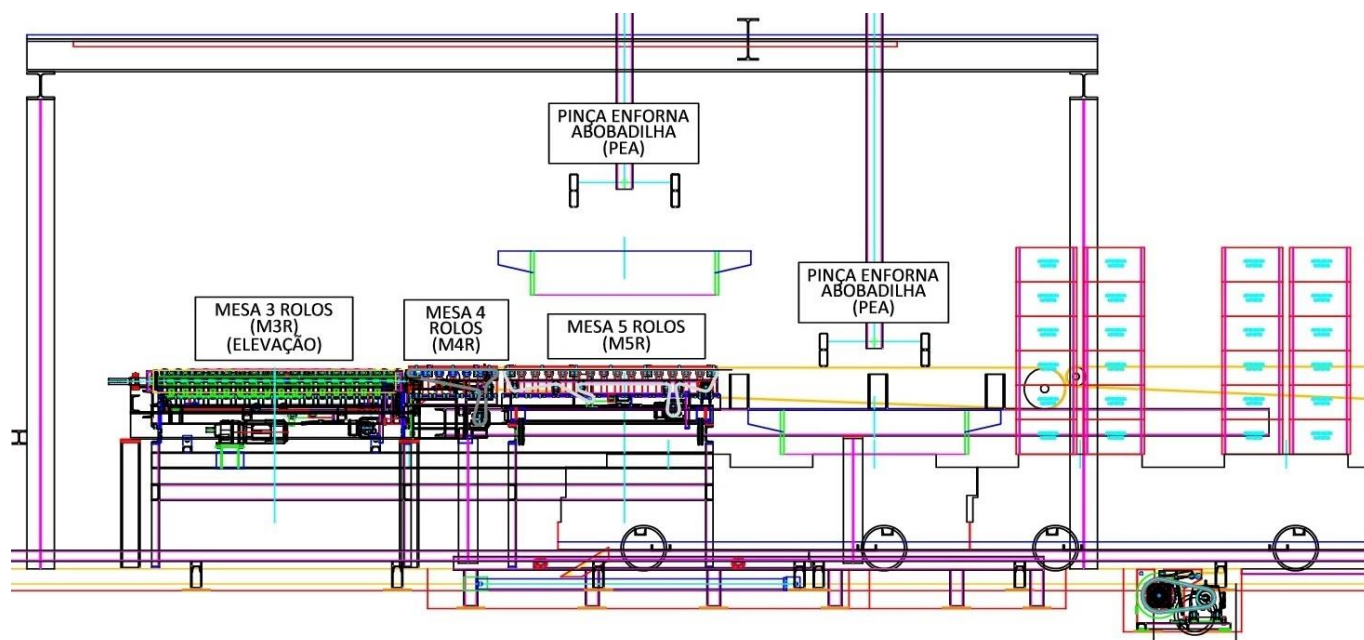


Figura 34: Enforma de abobadilha (vista superior - layout)

As vistas de frente e lateral estão na figura 35. Na vista de frente, que corresponde à vista observada a partir do lado direito do *layout*, consegue-se visualizar bem a mesa de rolos M1R, a mesa de correntes do virador (M2C), o próprio virador (VIR) e as restantes mesas sobre a via 3, onde são construídos os pisos de entrada e pisos das vagonas. A vista lateral corresponde a uma perspetiva do lado inferior do *layout*.



a) Vista de frente



b) Vista lateral

Figura 35: Enforma de abobadilha

Os principais equipamentos associados a cada um dos processos estão devidamente identificados e servem de guia, juntamente com o diagrama da figura 36, para ajudar à compreensão da sequência de operações realizadas sobre as peças ao longo da linha da enforna.

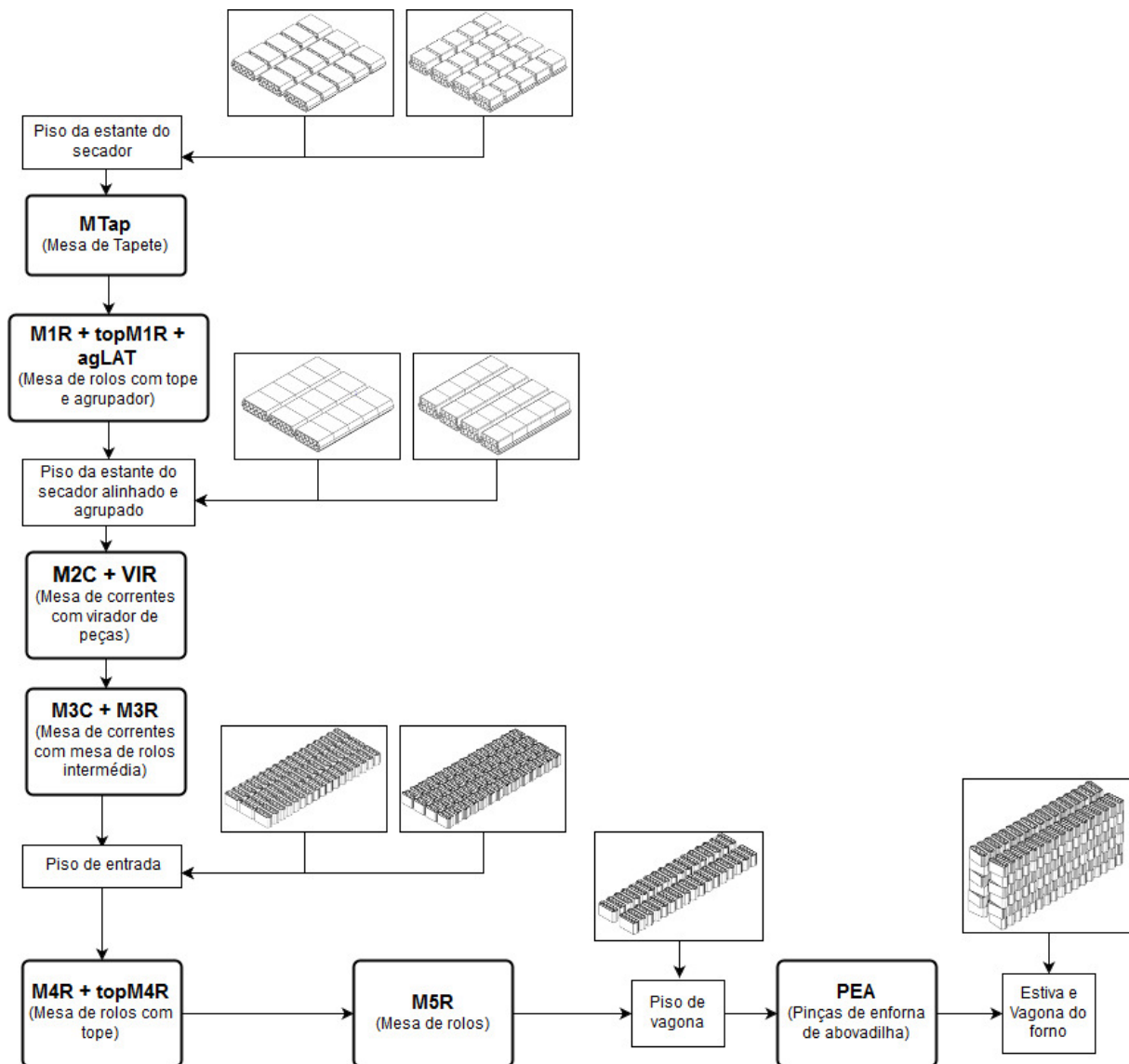


Figura 36: Diagrama de operações de movimentação na linha da enforna

A linha da enforna começa com um piso de material que sai do descarregador (figura 26), passa pela mesa de tapete MTap e avança para a mesa de rolos M1R. Este piso quando completo possui 5 fiadas na direção do movimento e consoante o modelo de abobadilha em produção pode ter 3 ou 4 fiadas em paralelo no sentido transversal ao seu movimento de avanço. Ao chegar à mesa MTap, com a enforna de abobadilha ativada, o piso segue em frente para a mesa de rolos M1R, a qual recebe, alinha e agrupa lateralmente as fiadas até o piso ficar como se apresenta na figura 27. Esta operação é necessária para garantir a sincronização entre o avanço das peças e o movimento de rotação das palas do virador. Assim que o sistema autoriza, as 5 fiadas avançam em simultâneo para a mesa de correntes M2C, entram no virador e saem já na posição vertical. Após a rotação, as peças são posicionadas na mesa de correntes M3C com o espaçamento definido no programa, até que perfaçam o número de peças necessário para um piso de entrada (figura 28). Assim que o sistema contabiliza o número de peças correto na construção do piso de entrada, este avança até ao

final da mesa M3C, sobe a mesa de rolos M3R e as peças avançam no sentido perpendicular em direção à mesa de rolos M4R para efetuar o desdobramento final entre o piso de entrada e o piso da vagona, o qual possui apenas duas fiadas de material. Em M4R existe um tope pneumático a toda a largura do piso para assegurar o alinhamento das peças antes de serem entregues à mesa de rolos final M5R. Por último, esta mesa posiciona duas fiadas no eixo de carga, com um espaçamento adequado para serem levantadas pela pinça de enforca de abobadilha (PEA).

A pinça PEA, que possui 6 palas, vários cilindros pneumáticos e uma almofada central, levanta o material da mesa M5R e posiciona-o na vagona. No momento da entrega do material é imprimido um movimento lateral à almofada central, cujo sentido de deslocamento alterna entre pisos, conferindo assim o travamento necessário entre pisos sucessivos e proporcionando à estiva (figura 30) a estabilidade necessária. Assim que é enforcado o sexto e último piso, o impulsor hidráulico faz avançar a vagona para trocar de estiva e recomeçar o processo.

O sistema foi desenhado para lidar com pisos completos do descarregador, evitando desta forma os tempos de espera deste no momento da entrega de um novo piso. Com 10 pisos em cada estante é importante que o sistema consiga absorver a cadência de descarga que em média é de aproximadamente 20 segundos por piso.

4.4 Layout da linha de desenforca de abobadilha

Na figura 37 apresenta-se o *layout* da linha de desenforca de abobadilha, onde se consegue visualizar todo o conjunto de equipamentos responsáveis pela descarga das peças das vagonas do forno, construção e cintagem de pisos (figura 32) e finalmente a construção dos paletes (figura 33), que representam o produto acabado.

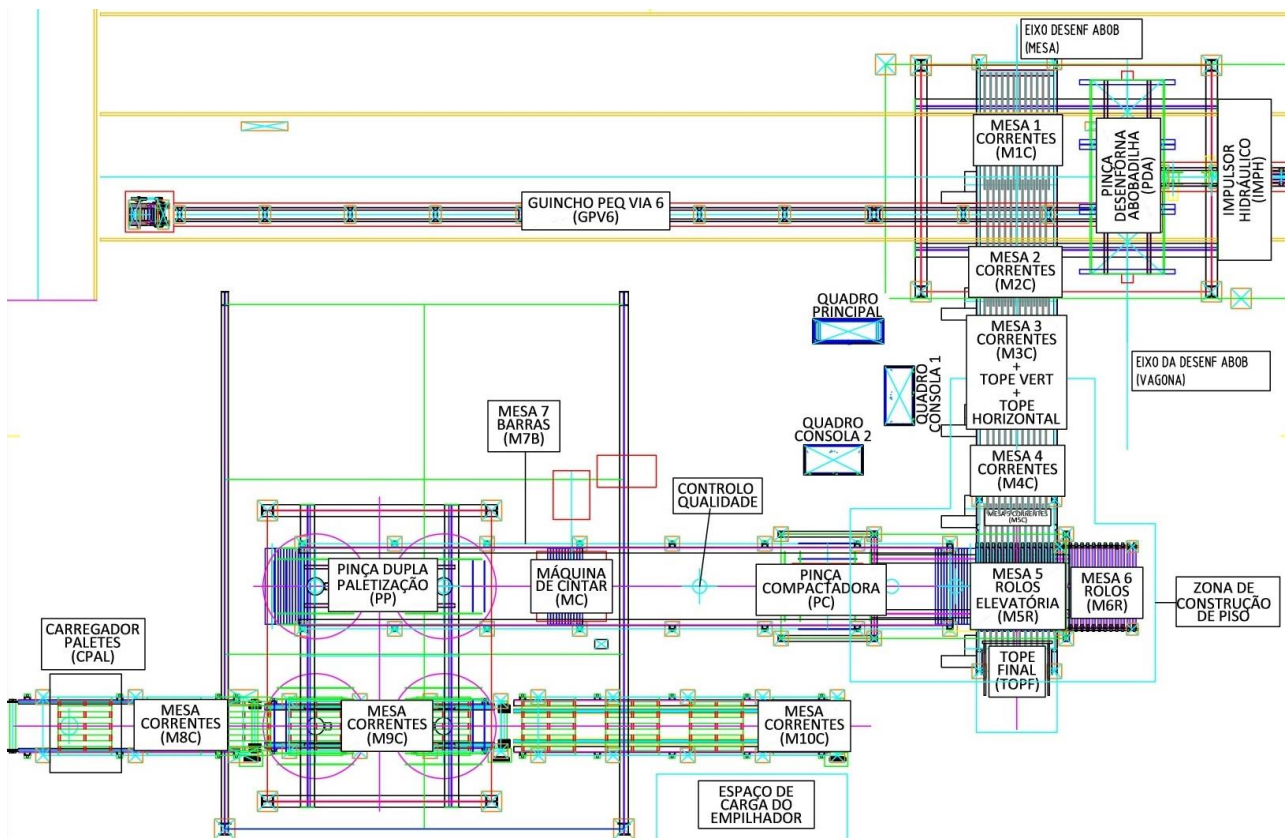


Figura 37: Desenforca de abobadilha (vista superior - layout)

As vistas de frente e lateral, figura 38, permitem observar a linha de outras perspectivas, respetivamente a partir do lado direito e do lado inferior do *layout*. A construção das paletes de produto acabado obrigam a um elevado número de operações de manipulação e movimentação das peças, o que exige mais espaço e um maior número de máquinas associadas à linha da desenforma. Parte dessa complexidade resulta da necessidade do sistema trabalhar com vários modelos de peças diferentes, atualmente 3 peças com a largura de 32 cm e 5 peças com a largura de 40 cm. O agrupamento de peças para constituir pisos com dimensões compatíveis com as paletes de madeira (dimensão fixa de 1000x900 mm) obriga a sequências de operações diferentes consoante o modelo a fabricar. Inclusive, alguns equipamentos como a pinça intercalar (PI) para posicionamento da fiada cruzada e a mesa de rolos M6R de restos apenas entram em funcionamento em certos modelos.

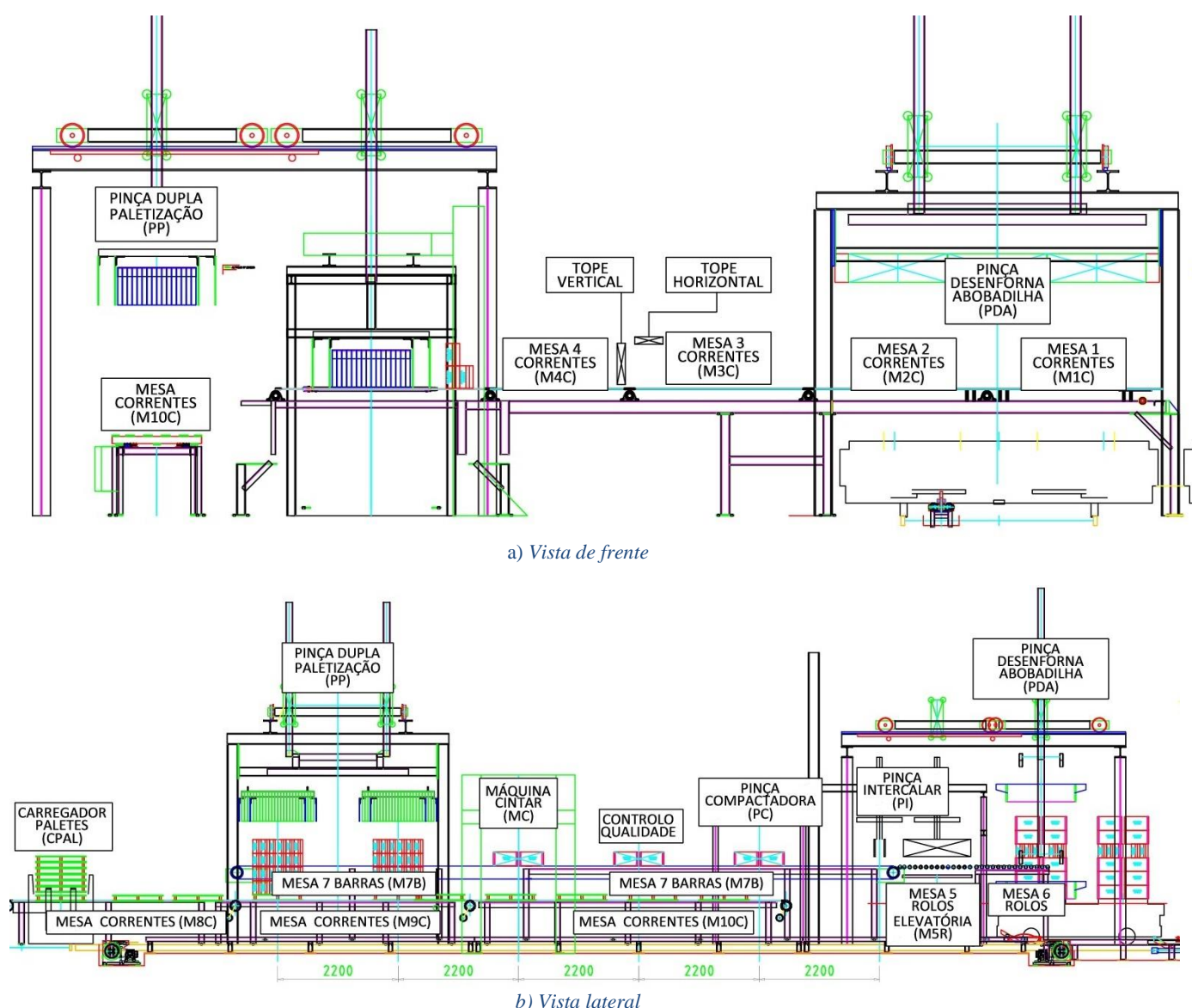


Figura 38: Desenforma de abobadilha

quantidade e disposição de peças, pode-se considerar concluída quando o piso se encontra posicionado na pinça compactadora (PC), responsável pela compactação e centramento do piso relativamente à mesa de barras M7B. A distância percorrida por cada piso entre os vários pontos de paragem, ao longo de todo o comprimento da mesa de barras tem de ser idêntica à distância que separa as duas pinças de paletização. Após a compactação o piso avança para a próxima paragem onde não é realizada nenhuma operação, servindo unicamente como ponto de controlo da qualidade, onde eventualmente é possível substituir alguma peça defeituosa. Seguidamente, o piso é cintado numa máquina de cintar que está integrada com a linha de produção. Nas duas últimas posições, os pisos cintados são recolhidos pela pinça dupla de paletização, que os coloca nas paletes a serem construídas na mesa de correntes M9C. A alimentação de paletes de madeira é feita pelo empilhador e por um carregador de paletes automático (CPAL) montado na mesa de correntes M8C. Por fim, quando as duas paletes em construção possuem os 4 pisos de material empilhados, a mesa M9C faz avançar as paletes para a mesa M10C, onde são recolhidas aos pares pelo empilhador e colocadas em *stock*.

4.5 Projeto mecânico (cálculo de velocidades e forças)

A componente mecânica, fundamental para se atingir os objetivos, também representou uma parte importante do projeto. Apesar da automação desempenhar um papel essencial na otimização e na correção de algumas deficiências do projeto mecânico, existem decisões ao nível da conceção do equipamento e na escolha das soluções mecânicas que não podem ser revertidas, e no limite podem comprometer o sucesso do projeto. Estas falhas críticas de conceção têm de ser evitadas ao máximo, e tal apenas é possível com uma forte experiência na aplicação da engenharia mecânica à tecnologia cerâmica, em particular ao setor da cerâmica estrutural. Mesmo dentro da cerâmica estrutural, existem variações de projeto que é necessário respeitar para responder às exigências de cada produto, como é perceptível ao longo desta dissertação em relação ao tijolo e à abobadilha.

Assim, partindo de um conjunto de equipamentos usados, foi desenhada e estudada uma solução desenvolvida especificamente para a empresa. Na enfora, com exceção da pinça, todos os equipamentos e mesas que fazem a movimentação de peças (figuras 34 e 35) foram concebidas no âmbito do projeto, para dar resposta à solução que foi idealizada para a produção de abobadilha, mas também em função das limitações de espaço disponível. No caso da desenfora foi possível aproveitar praticamente todas as máquinas adquiridas, com as alterações ao nível mecânico mais significativas a incidirem sobre as mesas de correntes finais (M8C, M9C e M10C) de transporte das paletes, que apenas tiveram de ser adaptadas em função do espaço disponível, e também na máquina de cintar que foi propositadamente adquirida e integrada neste trabalho.

Na enfora, a mesa de tapete MTap representa o último elemento comum das duas linhas (enfora de tijolo e abobadilha) e o seu movimento define a separação entre o fabrico de tijolo e abobadilha. Na produção de tijolo o piso da estante descarregado é colocado na mesa MTap, onde é recolhido por uma pinça que o entrega à mesa de tapete de programação para ser enforcado na via 2. Com a produção de abobadilha ativada, quando o piso de material (figura 26) está disponível na mesa MTap, o novo sistema assume o controlo das operações e encaminha o material em frente na direção da mesa de rolos M1R. O *layout* escolhido é aquele que cumpre melhor as necessidades do projeto porque permite um fluxo linear, movimenta pisos completos do descarregador (minimizando tempos de espera), possui o espaço necessário para fazer a rotação das peças e efetuar o desdobramento para os pisos de vagonas, e finalmente disponibiliza o piso da vagona em boa posição para ser recolhido na via 3 (única via disponível) pela pinça de enfora PEA, que coloca o material na vagona.

O facto das vias 2 e 3 serem vias de passagem de vagonas, como pode ser observado na figura 35, representou um obstáculo adicional ao projeto do conjunto de mesas da enfora. Foi preciso estudar uma solução que conseguisse encaixar todos os equipamentos necessários, sem obstruir o espaço livre que é necessário na parte inferior para permitir a passagem de vagonas vazias do forno. Nesse sentido, o primeiro passo foi conceber uma estrutura (anexos 1.4, 1.5 e 1.6) que respeitasse essas exigências de espaço e servisse de suporte para todas as mesas. Só depois foram projetadas as mesas individualmente, sempre com o cuidado de garantir que todos os elementos como topes, virador ou sistemas de elevação, nunca ultrapassassem os limites definidos pela estrutura. O prolongamento da estrutura permitiu a criação de um espaço para a instalação dos quadros elétricos e um local para o posto de trabalho do operador na produção da abobadilha.

Todos os equipamentos de acionamento e respetivas transmissões, moto-redutores, carretos e correntes, foram seleccionados para desenvolverem a potência necessária para cumprir com as exigências impostas pela movimentação das peças e capacidade de produção da linha. A rede pneumática da instalação da fábrica opera à pressão de 7 bar, valor superior às necessidades dos sistemas pneumáticos, que raramente chegam aos 5 bar. A utilização de reguladores de pressão nos vários equipamentos e órgãos pneumáticos permitiu o trabalho com pressões diferentes em função das necessidades de cada situação. Foi possível assim assegurar a integridade do material, nomeadamente nas pinças que fazem a recolha e entrega do material na linha de enfora.

Seguidamente apresenta-se uma síntese do estudo mecânico dos vários equipamentos projetados, com o cálculo das velocidades, binários e principais forças, com especial atenção para as operações de rotação do material no virador e respetiva sincronização com as mesas M1R, M2C e M3C. Apesar da simulação e do cálculo de velocidades como forma de conseguir uma primeira aproximação, a introdução de variadores de frequência foi necessária para permitir o ajustamento de velocidades e otimizar o funcionamento do virador com as mesas.

4.5.1 Mesa de rolos com tope e agrupador lateral M1R

Trata-se de uma mesa com rolos (anexos 1.7, 1.8 e 1.9) acionados por um moto-redutor e com uma transmissão feita por corrente dupla de 1/2 polegada. Possui um tope acionado por 2 cilindros pneumáticos que sobe e desce ao rodar em torno de um eixo montado na parte inferior da mesa. Na direção transversal, um agrupador constituído por 2 palas laterais e acionado por outros 2 cilindros pneumáticos, realiza o agrupamento das peças antes de avançarem para o virador. Para garantir que o material é centrado na mesa, os 2 cilindros são sincronizados por intermédio de uma corrente que obriga as duas palas a deslocarem-se em simultâneo. A figura 40 ilustra o acionamento por correntes da mesa de rolos M1R, onde estão identificados os principais elementos da transmissão que servem de base ao cálculo das velocidades e forças. No lado direito da mesma figura é possível observar os dados e os cálculos referentes às velocidades e forças envolvidas.

As fórmulas utilizadas para os cálculos desta e das restantes mesas são as seguintes (Melconian, 2006):

$$\begin{aligned}
 \text{Potência e binário:} \quad & P[w] = 2 \cdot \pi \cdot \tau[Nm] \cdot n[rpm] / 60 \\
 & P[w] = m[kg] \cdot g[m/s^2] \cdot h[m] / v[m/s] \\
 & \tau[Nm] = P[w] \cdot 60 / (2 \cdot \pi \cdot n[rpm]) = 30 \cdot P[w] / (\pi \cdot n[rpm]) \\
 \text{Velocidade linear:} \quad & v[m/s] = w \cdot r = n[rpm] \cdot \pi \cdot d[m] / 60 \\
 & n[rpm] = 60 \cdot v[m/s] / (\pi \cdot d[m]) \\
 \text{Binário e forças:} \quad & \tau[Nm] = F[N] \cdot r[m] \Leftrightarrow F[N] = \tau[Nm] / r[m]
 \end{aligned}$$

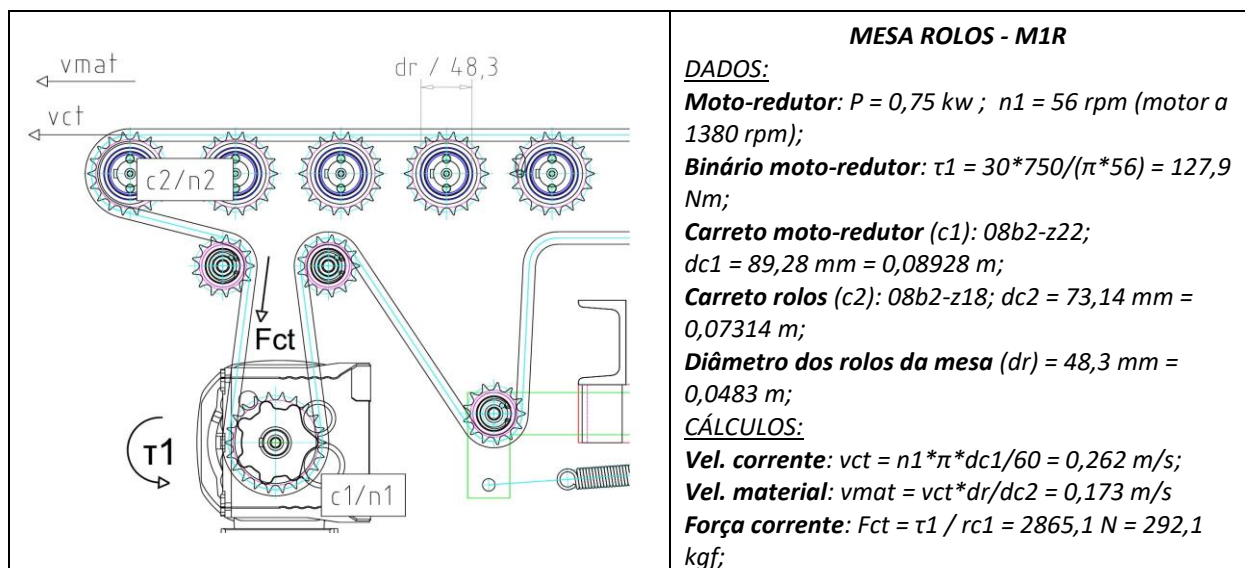


Figura 40: Mesa de rolos M1R

A velocidade de avanço do material estimada em 173 mm/s é importante para a sincronização com o virador e a força de 292,1 kgf, seguramente mais do que suficiente para fazer avançar o piso (peso máximo de 250 kg), está muito abaixo da carga de rutura para a corrente utilizada.

4.5.2 Mesa de correntes M2C e virador VIR

É uma mesa de transporte que movimenta o material por intermédio de correntes de chapas planas, no caso correntes simples de 5/8 que se deslocam em cima de guias de polietileno (figura 41). O acionamento das correntes é feito por um moto-redutor que transmite o movimento a um veio (anexos 1.12 e 1.13) onde estão montados vários carretos que fazem a tração das correntes. Intercalado nas correntes encontra-se o virador (VIR), um conjunto de estrelas solidárias a um veio que gira ao ser acionado por um moto-redutor de eixos paralelo montado diretamente sobre o veio. O movimento simultâneo e sincronizado entre as correntes e o virador permite rodar o material em 90°.

A rotação das peças é uma das operações mais críticas na enfora, o limite na velocidade de rotação é condicionado pela instabilidade das peças mais estreitas e eventualmente pode condicionar a produtividade de toda linha. Para minimizar este problema a opção recaiu num virador de 5 palas que permite a rotação das peças em contínuo, a baixa velocidade, ao contrário dos viradores de 4 palas que funcionam de forma intermitente e com uma paragem intermédia entre peças para sincronização do virador. Outra forma encontrada para permitir a rotação das peças sem comprometer a produtividade da linha, está relacionada com o facto de a operação ser realizada em simultâneo em todas as fiadas do piso da estante, o que permite construir o denominado piso de entrada com 3 ou 4 fiadas (figura 28), consoante o modelo da peça em fabrico. Isto obriga a uma desmultiplicação nas mesas de rolos seguintes M4R e M5R, para as 2 fiadas que formam o piso da vagona (figura 29), mas atendendo a que a rotação das peças é operação mais lenta do processo, os ganhos de produtividade são evidentes. Todos estes fatores contribuíram para a definição do *layout* com uma configuração bastante simples e ao qual está associado um fluxo de material linear entre a mesa de tapete e a mesa final de rolos M5R, local onde o material fica disponível para ser levantado pela pinça da enfora. Apesar do sistema estar preparado para virar o número de fiadas que estejam em espera na mesa de alimentação M1R, em regra e em cada movimento o virador faz a rotação em contínuo das 5 peças que constituem um piso da estante.

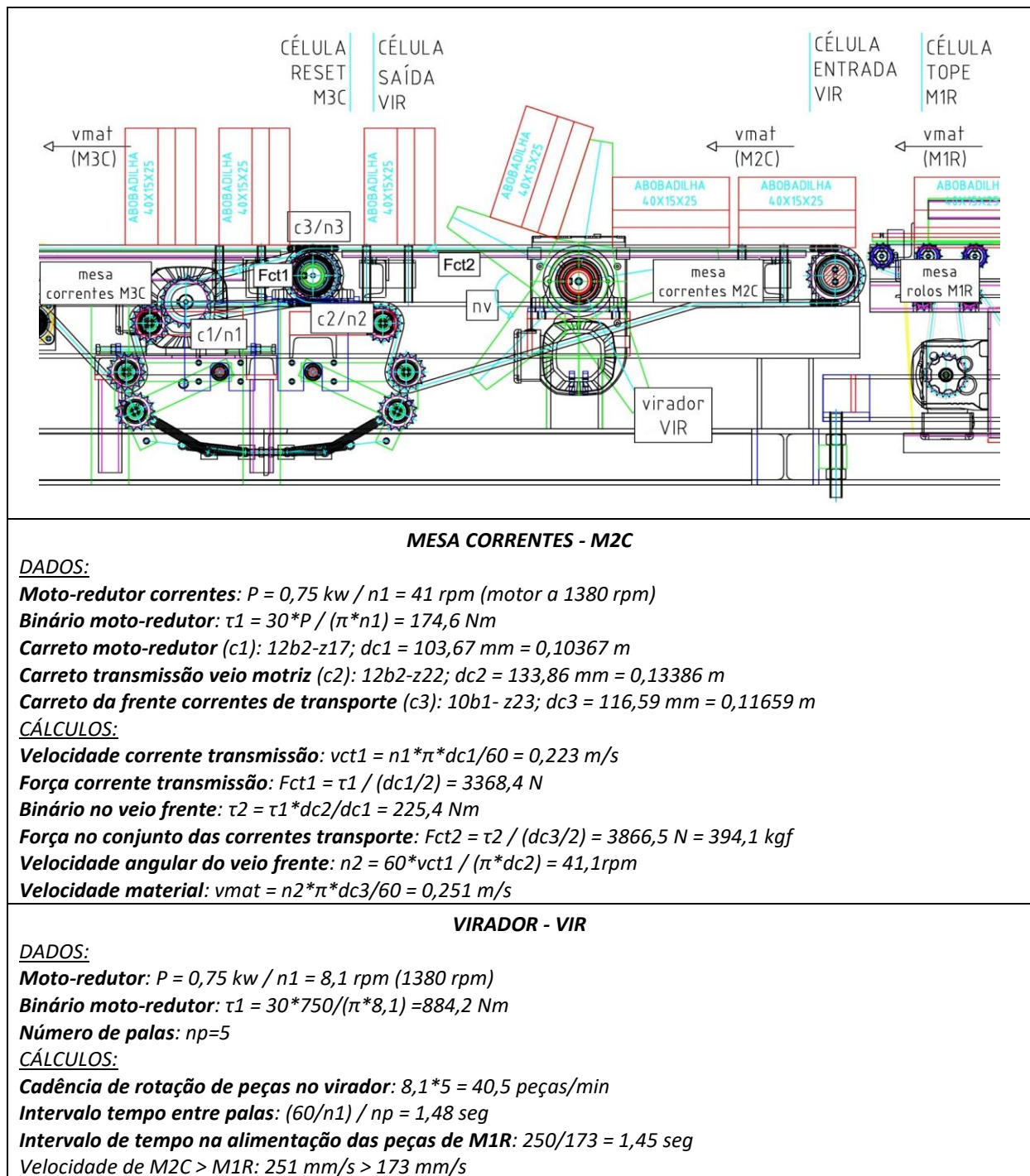


Figura 41: Mesa de correntes M2C e Virador VIR

A solução encontrada para o virador demonstra bem as vantagens entre a integração do projeto mecânico e a automação. A operação, que consiste na transformação de um piso da estante agrupado (figura 27) num piso de entrada com as peças rodadas 90° (figura 28), baseia-se numa solução que envolveu o projeto das 3 mesas (M1R, M2C e M3C) mais o virador, complementada com a automação da sequência de operações programada no controlador. Todos os sensores, fotocélulas de detecção do material, detetores indutivos de controlo da posição do virador e *encoder* na mesa M3C para os espaçamentos entre peças, são elementos essenciais para informar o PLC sobre o estado do sistema em cada momento.

Conhecendo as limitações de espaço para a implementar a solução e com o problema bem definido, foi possível estabelecer inicialmente um conjunto de condições a cumprir e que orientaram o desenvolvimento da solução:

- iv. Sincronização entre a velocidade de alimentação das peças do piso da estante realizada pela mesa de rolos M1R e a velocidade angular do virador;
- v. Mesa de correntes M2C com uma velocidade ligeiramente superior à mesa que define a cadência de alimentação de peças M1R, com o objetivo de separar ligeiramente a fiada de peças que está a entrar no virador da fiada seguinte, evitando o contacto entre as duas durante a rotação;
- vi. O sistema tem de reconhecer quando o virador fica sem peças, conseguido com uma combinação entre fotocélulas e um dos detetores do virador, e assegurar a sua paragem numa posição angular definida e reconhecida pelo sistema;
- vii. O arranque do virador para a rotação de um novo piso é determinado pela passagem da primeira peça de material numa fotocélula, que em combinação com a posição angular conhecida do virador garante a sincronização da operação;
- viii. A velocidade de saída da peça na mesa M2C tem de possuir uma magnitude suficiente para evitar que a estrela do virador entre em contacto com a face mais atrasada da peça, o que poderia eventualmente provocar o seu desequilíbrio;
- ix. Uma fotocélula na saída do virador permite que a operação de rotação seja interrompida caso deixe de haver condição para o seguimento do material na mesa de correntes seguinte M3C, sendo a sequência retomada automaticamente logo que o sistema o permita;
- x. A cadência entre peças na saída do virador tem de permitir que a mesa de correntes M3C esteja parada quando a próxima peça atinge a célula de *reset*, para garantir o espaçamento correto entre peças;

O variador de frequência na mesa de rolos M1R permite velocidades diferentes para o avanço do material na alimentação do virador e na receção do material da mesa de tapete MTap. Em função da sequência automática em curso, o PLC dá ordem ao variador para acionar o motor-reductor com a velocidade configurada para o tipo de movimento.

4.5.3 Mesa de correntes M3C e mesa de rolos elevatória M3R

A mesa 3 (figura 42) combina a mesa de correntes M3C (anexos 1.13, 1.14, 1.15) com a mesa de rolos elevatória M3R (anexo 1.16) para conseguir a mudança de direção no movimento do material. A mesa de correntes executa a construção do piso de entrada e possui um conjunto de correntes que trabalham intercaladas com a mesa de correntes M2C do virador.

Quando todas as peças que constituem o piso de entrada estão alinhadas, o mesmo segue até ao final da mesa M3C, a mesa de rolos M3R sobe e os rolos levantam todo o piso de material até ao plano das mesas de rolos M4R e M5R. A força de 420 kgf disponível para as correntes de transporte é seguramente suficiente para movimentar o piso completo ao longo da mesa M3C. A velocidade do material 267 mm/s está no limite máximo para não colocar em causa o equilíbrio das peças, nos sucessivos arranques e paragens durante a construção do piso de entrada. Foi ponderada a colocação de um variador de frequência para o acionamento das correntes de transporte da mesa M3C, para garantir um maior rigor na precisão nos espaçamentos entre as peças. Contudo, a realização de um ensaio permitiu concluir que isso colocaria em causa a produtividade da operação de construção do piso, e apesar de tudo a

repetibilidade da operação sem o variador de frequência demonstrou ser suficiente para as necessidades do processo.

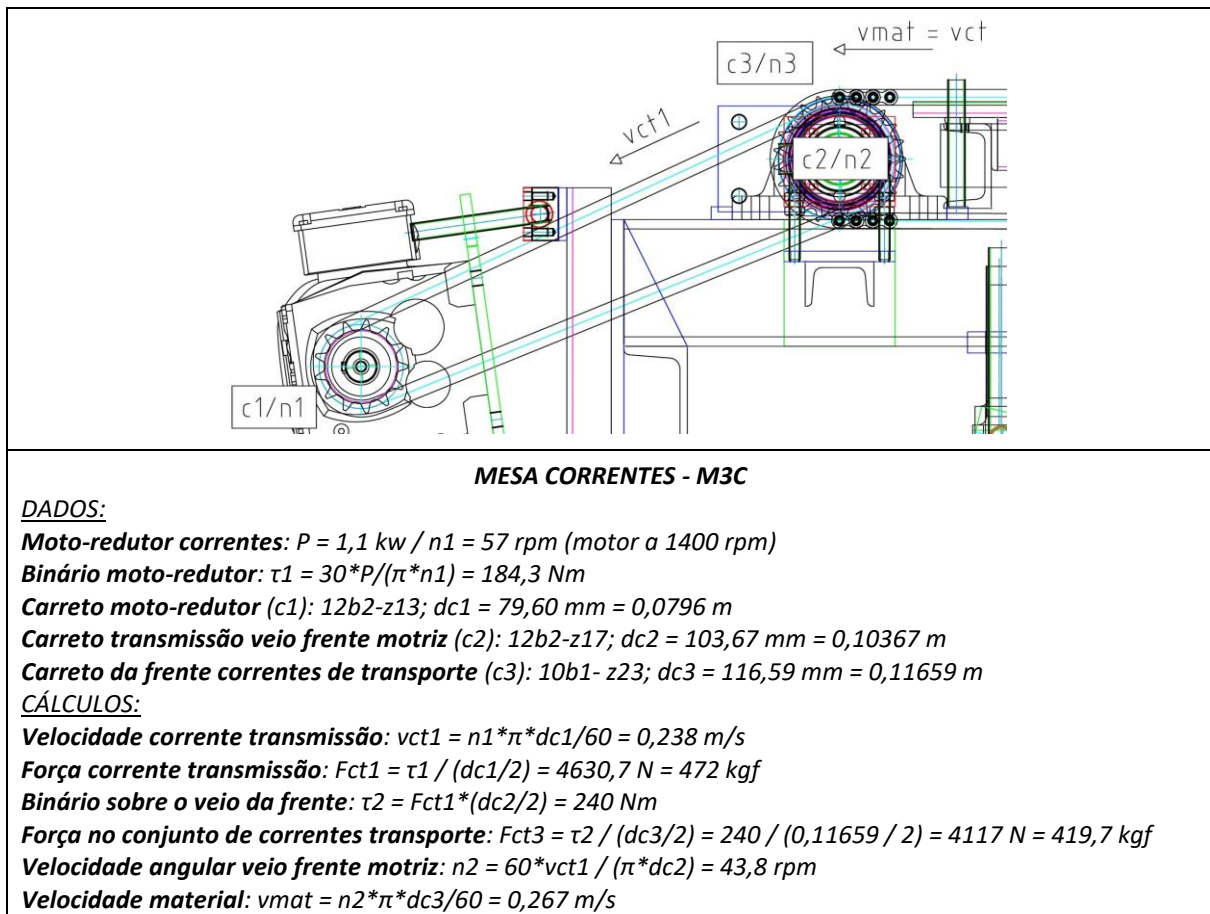
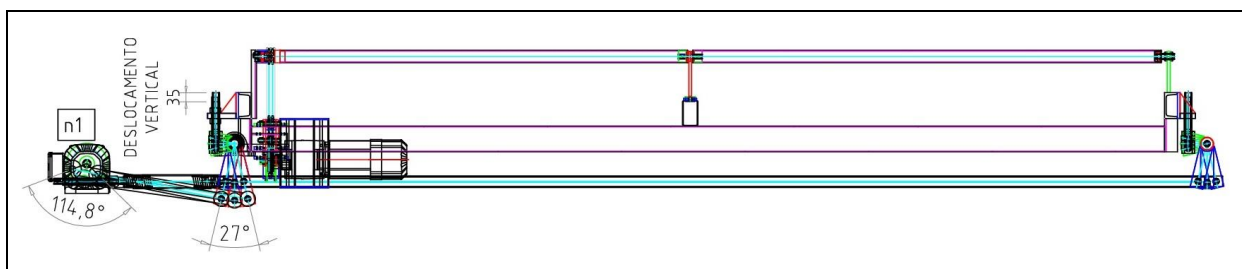


Figura 42: Mesa de correntes M3C

O sistema de elevação (figura 43) foi desenhado por forma a não obstruir a passagem das vagonas vazias, as quais têm de passar por debaixo da mesa (figura 35-a) antes de serem enforçadas com material. Os 4 apoios de suspensão da mesa de rolos são acionados por um moto-redutor colocado no exterior da mesa, exatamente para libertar espaço para a passagem inferior de vagonas vazias, e por intermédio de um sistema de barras e articulações transmite o movimento e as forças necessárias para a elevação da mesa. Trata-se de um movimento oscilante que eleva a mesa apenas 35 mm, o suficiente para separar o piso de material da mesa de correntes e permitir o seu avanço na direção do eixo de enforna.



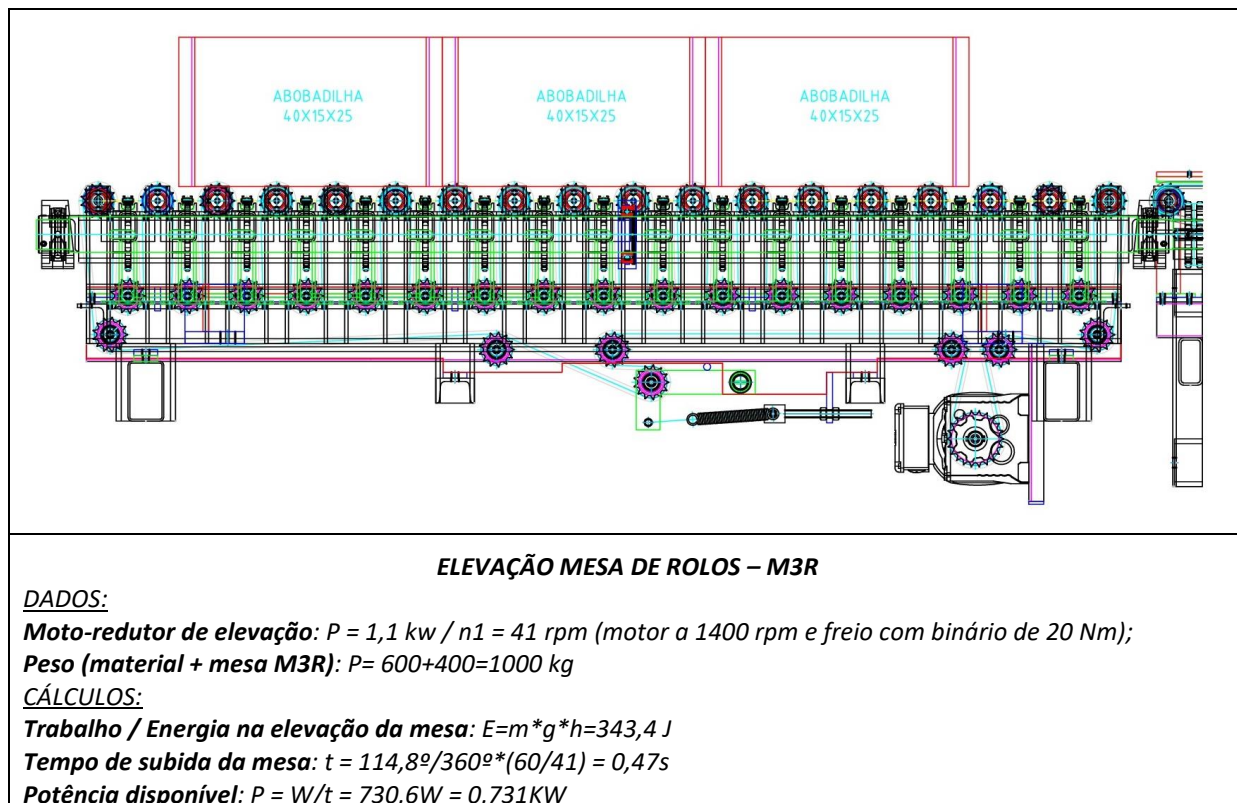


Figura 43: Sistema de elevação da mesa de rolos M3R

O acionamento do movimento dos rolos da mesa M3R, também por uma corrente dupla de 1/2 polegada, obrigou a uma montagem da corrente mais complexa, uma vez que os rolos têm de trabalhar intercalados entre as correntes da mesa M3C, ao mesmo tempo que deixam espaço para a subida dos rolos sem interferir com as correntes, como se pode observar na figura 43 e mais em pormenor na figura 44.

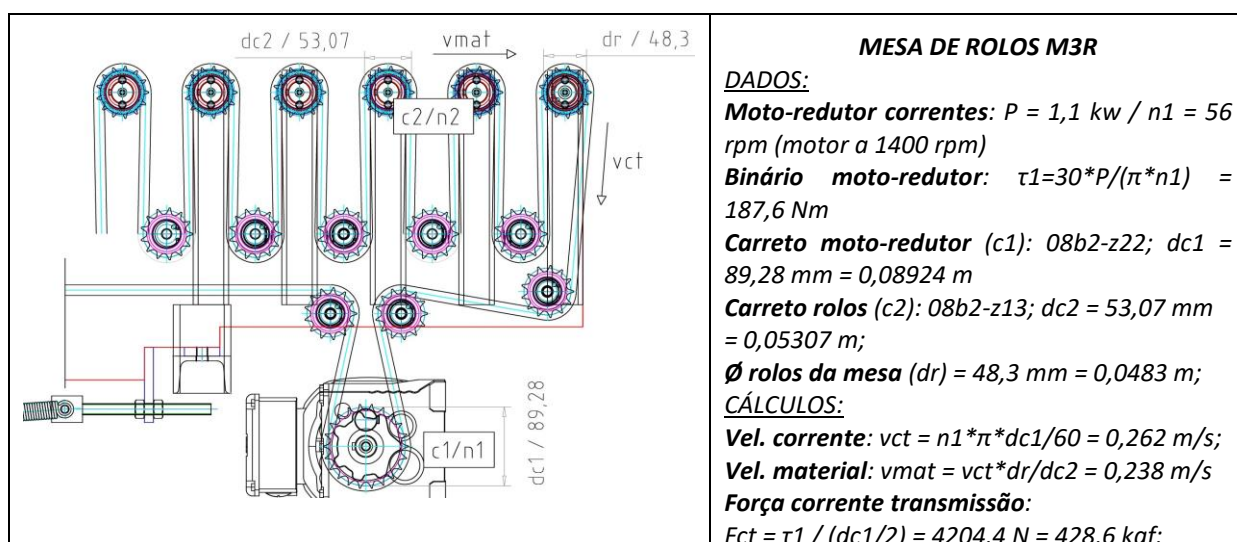


Figura 44: Mesa de rolos M3R

4.5.4 Mesa de rolos com tope M4R

A mesa de rolos M4R (figura 45) oferece um espaço intermédio para fazer a desmultiplicação entre as fiadas do piso de entrada e as 2 fiadas que constituem o piso da vagona. O tope

acionado pneumáticamente, muito semelhante ao da mesa M1R, apenas com um comprimento maior e adequado à largura total do piso de entrada, garante o alinhamento das peças antes de estas avançarem para a mesa final de entrega M5R. Um conjunto de células deteta as fiadas e faz a respetiva separação para garantir o encaminhamento de apenas uma fiada na mesa M4R. Depois de avançarem as 2 fiadas para a construção do piso da vagona, a terceira fiada fica em espera na mesa M4R, evitando assim o atraso na construção do piso de entrada seguinte. A transmissão de movimento aos rolos é muito semelhante ao sistema implementado para a mesa M1R. A montagem de um variador de frequência nos rolos da mesa serviu dois propósitos. A compensação da velocidade de avanço do material (173 mm/s), inferior ao da mesa de rolos anterior M3R (238 mm/s), em virtude da necessidade de montagem de um carroto mais pequeno nesta mesa devido às limitações de espaço, e diminuir a velocidade de aproximação das peças ao tope da mesa 4, evitando a rotação das mesmas pelo facto do encosto se verificar sobre a aba, que em muitos modelos está desalinhada com o centro de gravidade das peças. A força resultante (292,2 kgf) disponível pelos rolos para realizar o avanço do material está dentro dos valores aceitáveis para a operação em causa.

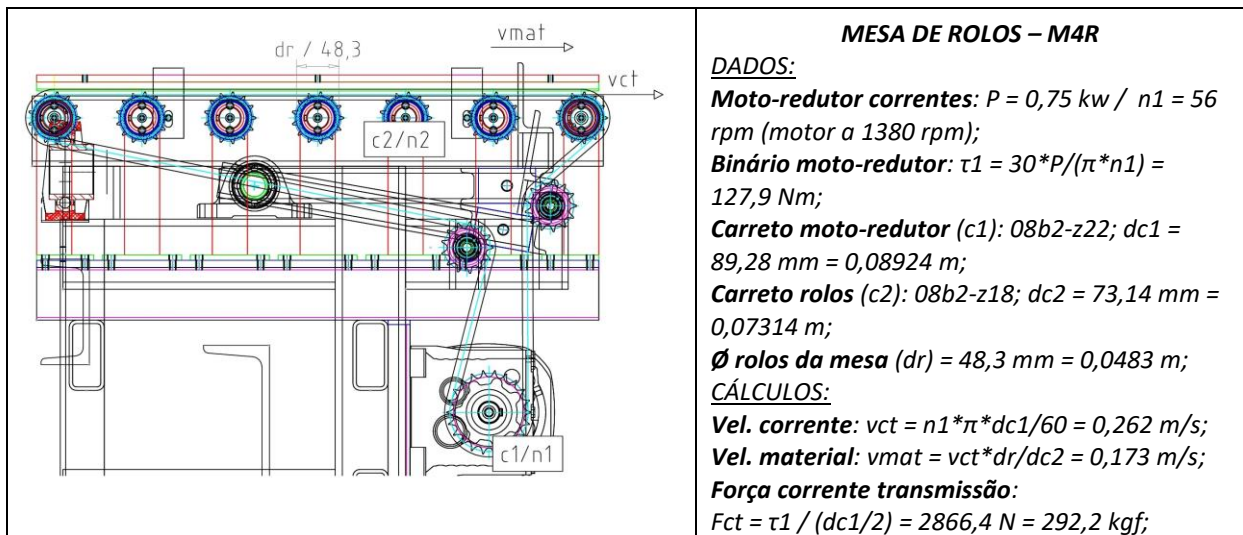


Figura 45: Mesa de rolos M4R

4.5.5 Mesa de rolos M5R

Por fim, a figura 46 apresenta o pormenor da mesa de rolos M5R, responsável pelo último movimento e posicionamento das peças antes de serem recolhidas pelas pinças da enfora. Trata-se de uma mesa de rolos com acionamento semelhante às mesas M1R e M4R e que movimenta toda a largura de peças que constituem um piso da vagona. Trabalha em conjunto com a mesa M4R para movimentar e posicionar no eixo de carga das pinças PEA as duas fiadas que serão enforadas na vagona. Apesar de movimentar duas fiadas, ao contrário da mesa 4 que apenas avança uma, a verdade é que a força disponibilizada pelas correntes (292,2 kgf) é claramente suficiente para as necessidades, tal como foi possível verificar mais tarde já com a linha em funcionamento. Grande parte dos moto-redutores foram aproveitados dos equipamentos adquiridos e como tal foram aplicados em função dos cálculos aqui desenvolvidos, mas caso tivessem de ser adquiridos, o que o projeto demonstra é que teria sido possível selecionar em alguns casos moto-redutores com uma potência inferior.

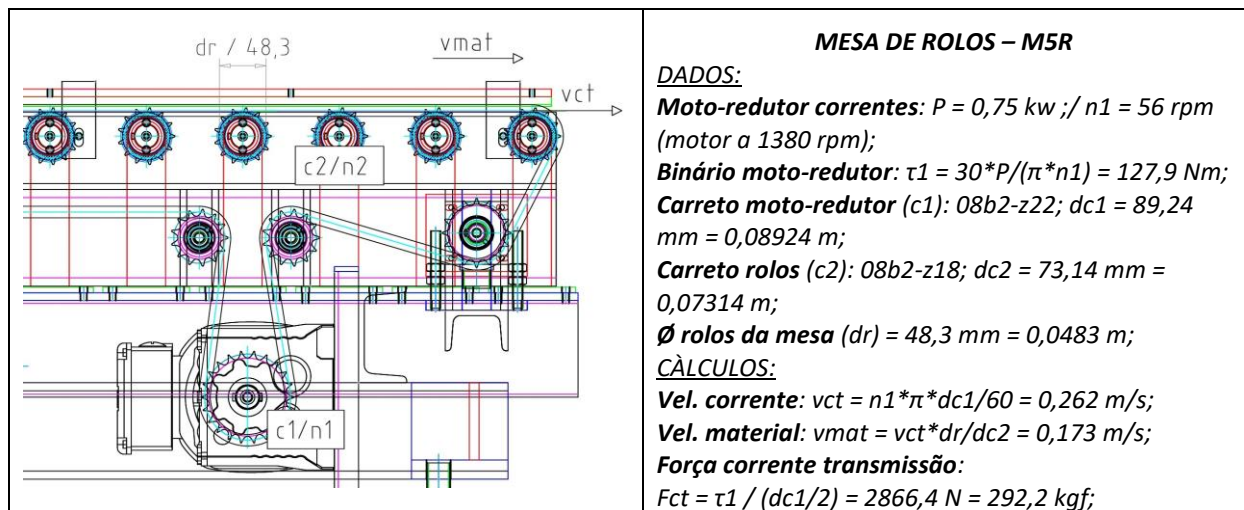


Figura 46: Mesa de rolos M5R

4.5.6 Transportador de guincho

Como a enfora de tijolo se realiza na via 2 e a de abobadilha na via 3 (figuras 34 e 35), foi necessário projetar um guincho reversível (figura 47) para esta via. O trabalho nos dois sentidos resulta da necessidade de deslocar automaticamente as vagonas vazias num sentido até as entregar ao transportador hidráulico, que as posiciona no eixo da enfora sempre que se está a enforar abobadilha, ou no sentido inverso para retirar as vagonas vazias acumuladas na via 3 quando se está a produzir tijolo. Foi desenhado para movimentar várias vagonas vazias em simultâneo e preencher um deslocamento com cerca de 16,5 metros (anexo 1.19). Devido à necessidade de desenvolver esforço em ambos os sentidos, a opção recaiu na montagem de dois conjuntos iguais (moto-redutor e tambor), um em cada extremo do percurso. O correto enrolamento do cabo de aço de 8 mm é assegurado por dois rolos que encaminham e pressionam o cabo contra o tambor por intermédio de umas molas que atuam sobre um dos rolos (anexo 1.20).

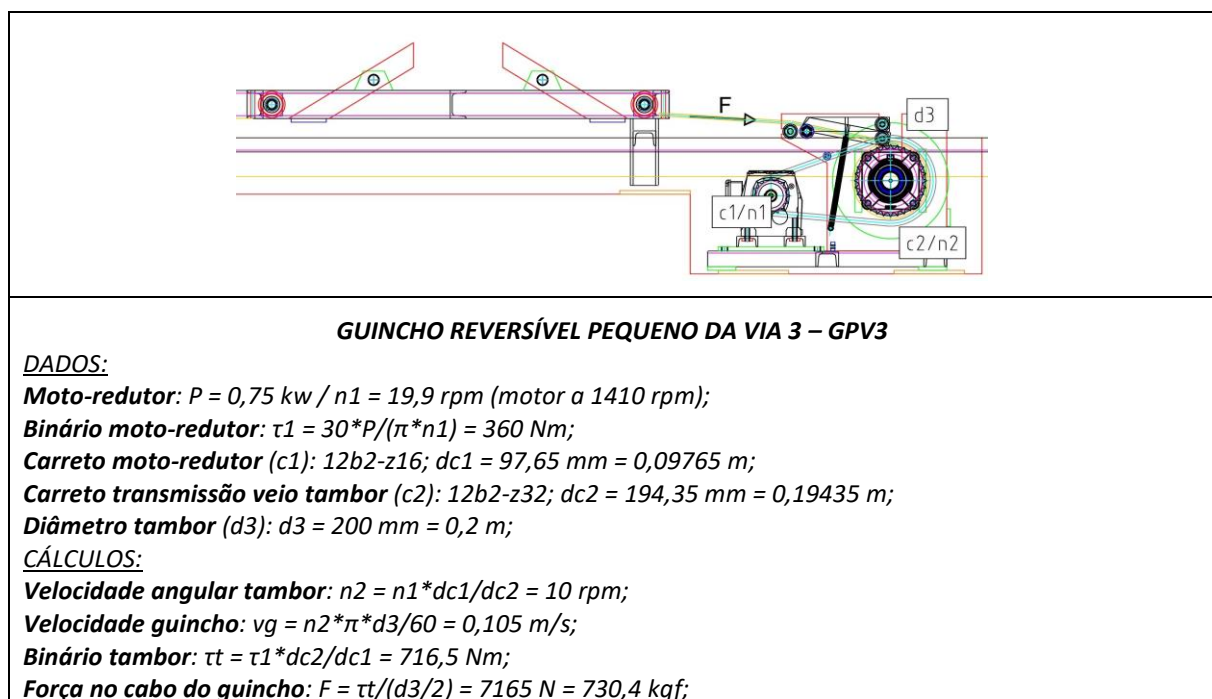


Figura 47: Guincho reversível pequeno da via 3

4.6 Projeto elétrico

Para um engenheiro com uma formação de base nas áreas de produção e mecânica, a componente elétrica e de eletrónica industrial de um projeto de automação pode representar um obstáculo difícil de ultrapassar. Apesar de serem áreas transversais e presentes na generalidade dos cursos de engenharia, a pouca experiência e escassa participação em soluções concretas faz com que a parte elétrica seja muitas vezes afastada do processo de desenvolvimento e entregue a técnicos que se dedicam exclusivamente a essa área. No caso em concreto, o desenho do projeto elétrico foi elaborado em simultâneo com a definição do sistema, em termos de pontos de entradas e saídas. Também nesta vertente foi possível conseguir vantagens no que respeita à flexibilidade do processo de desenvolvimento e independência, relativamente a eventuais fornecedores externos que poderiam ter sido subcontratados. Por vezes, como é o caso, não é necessário saber tudo sobre uma determinada área de conhecimento, a questão é compreender e assimilar os conceitos fundamentais, a partir dos quais deriva a maior parte do trabalho.

Uma vez que os princípios e a estruturação dos projetos são muito semelhantes, a abordagem deste tema será feita para os dois sistemas em paralelo. As diferenças, que podem ser consultadas nos esquemas completos apresentados nos anexos 2 e 3, resultam das particularidades de cada sistema e da composição de entradas e saídas distinta em função das respetivas necessidades. Ambos utilizam o mesmo tipo de dispositivos: autómatos, sensores, atuadores e restantes componentes elétricos como seccionadores, transformadores, fontes de alimentação, relés, entre outros. A solução apresentada, que segue os mesmos princípios aplicados em projetos anteriores, é bastante fiável e adequada ao tipo de automação em causa.

Uma observação para a importância da documentação, que deve ser o mais clara possível, facilitando o trabalho dos técnicos responsáveis pelos trabalhos de eletrificação e montagem no terreno, e mais tarde pelo pessoal da manutenção.

Uma das ideias chave de qualquer projeto elétrico relacionado com máquinas industriais consiste na distinção entre os circuitos de comandos e circuitos de potência. Os primeiros geralmente trabalham a tensões mais baixas, no caso a 24VDC e 220VAC, e controlam a lógica da operação de outros circuitos, nomeadamente os circuitos de potência. Estes, por sua vez, são os circuitos que fazem a alimentação dos acionadores, 380VAC nos motores elétricos e 220VAC nas electroválvulas que controlam os atuadores pneumáticos e hidráulicos. Um projeto deve estabelecer uma separação clara entre estes dois tipos de circuitos, devendo ser possível remover a potência do sistema independentemente da alimentação do circuito de comandos. Sem potência, tem-se a garantia de que os acionadores não estão energizados e, por conseguinte, é possível manusear os motores com total segurança. Esta separação também permite simular ou detetar avarias nos circuitos de comando com a garantia de que nenhum acionador será alimentado. A este respeito as normas de segurança obrigam à montagem de 2 contactores em série, por onde passa toda a corrente elétrica que alimenta os circuitos de potência, controlados por relés de segurança (página [1-2-1]¹⁴ no anexo 2.2 e página [2-2-1] no anexo 2.3), como forma de assegurar que os vários circuitos de potência estão desligados sempre que é determinado pelo operador por intermédio da ativação dos botões de emergência.

Na página [1-1-1] no anexo 2.2 é apresentado o esquema geral de alimentação do quadro principal da enfora, muito semelhante ao da desenfora. É possível observar um seccionador SEC1 à entrada do quadro, um contactor KGC geral de comandos alimentado a 380VAC e

¹⁴ [] Servem para indicar páginas dos esquemas elétricos.

um botão de retenção de duas posições btGCM, que ao ser ativado pelo operador alimenta um transformador T1 que converte os 380VAC da rede em 220VAC. Esta tensão serve para alimentar os circuitos a 220VAC, responsáveis pelo acionamento dos contactores de potência, e as fontes de alimentação FA1 e FA2, que por sua vez baixam e retificam a tensão para os 24VDC do autômato e respectivos pontos de entradas e saídas. A ausência do neutro dos quadros e a preferência pelo uso de transformadores para converter a tensão dos 380VAC para 220VAC, apesar de os 220VAC estarem presentes em vários pontos da instalação elétrica da empresa, é uma decisão opcional, e resulta da necessidade de isolar os quadros de um elemento que pode ser problemático, uma vez que está presente em vários circuitos de iluminação e tomadas elétricas, cuja utilização nem sempre é corretamente e devidamente controlada.

Temos assim três níveis de tensão diferentes, dois em corrente alternada (380VAC, 220VAC) e um em corrente contínua (24VDC), que alimentam os vários circuitos presentes no sistema, além das tensões dos dispositivos que possuem fontes de alimentação própria, como os variadores de frequência. Na figura 48 é apresentado o esquema de ligação de um variador de frequência, translação da pinça da desenfora, onde é possível verificar que as entradas binárias de controlo de movimento dos variadores utilizam a fonte de alimentação interna do próprio, comandadas por relés alimentados pelas saídas do autômato. A separação entre circuitos diferentes e com fontes de alimentação distintas deve ser sempre respeitada, mesmo no caso de os circuitos operarem com o mesmo nível de tensão. Os relés e respectivos contactos livres associados são a melhor forma de concretizar essa separação entre circuitos. Eletricamente, os relés foram usados para realizar todas as integrações entre os novos sistemas e os equipamentos já existentes, evitando desta forma quaisquer problemas resultantes da mistura de sinais com origem em diferentes sistemas.

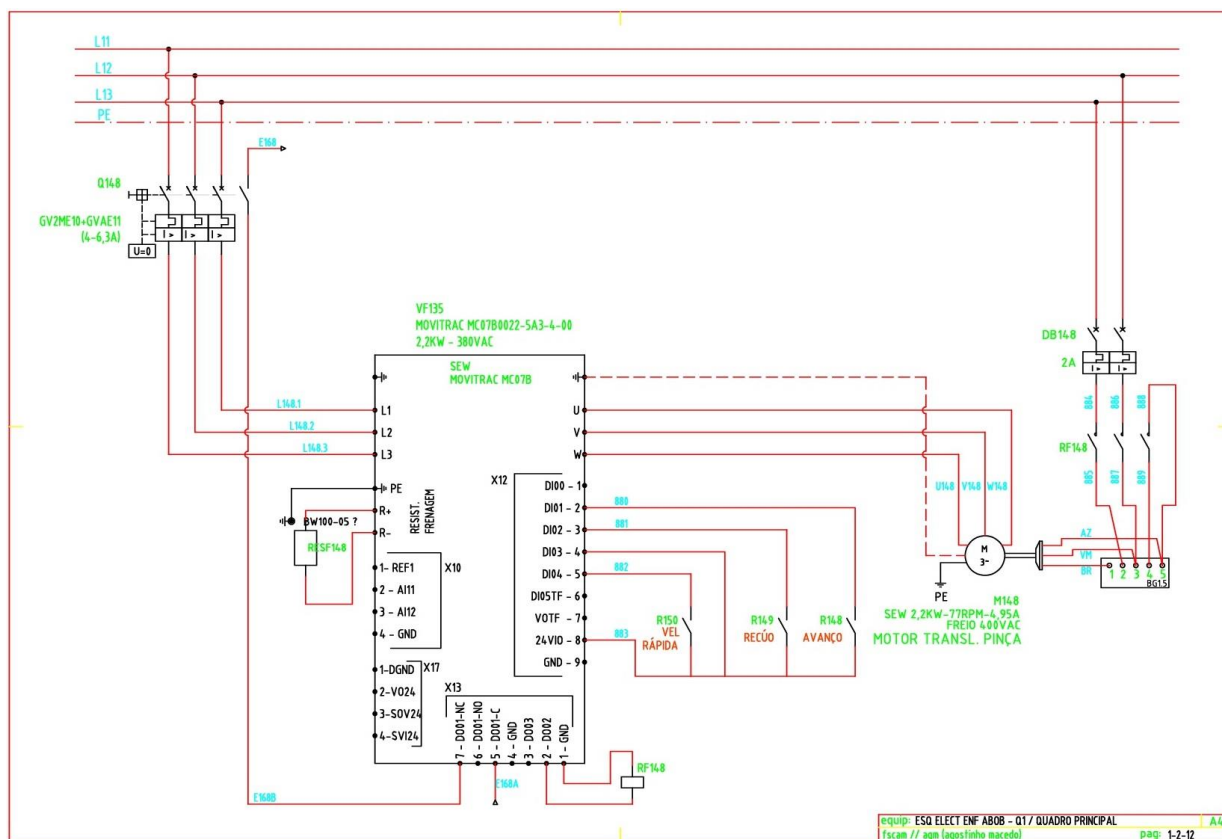


Figura 48: Esquema elétrico / Variador de frequência da pinça de translação – enfora de abobadilha

[illegible]

O cuidado com a segurança e a fiabilidade foram elementos que estiveram sempre presentes no desenvolvimento do projeto elétrico, na construção dos quadros e na eletrificação das máquinas. A disposição dos materiais elétricos dentro dos quadros teve o cuidado de separar as zonas de comando e de potência, por forma a evitar ao máximo a possibilidade de interferências (figura 50). Em termos gerais e dentro do possível, cada quadro possui três zonas distintas onde operam diferentes tensões: na parte superior (zona 1) estão o PLC e respetivas cartas de entradas e saídas a 24VDC, no meio (zona 2) uma área com relés alimentados a 24VDC que fazem a interligação entre o circuito das saídas do autómato e o circuito de comando a 220VAC, responsável pela alimentação dos contactores dos circuitos de potência, e finalmente na parte inferior (zona 3) estão colocados todos os dispositivos relacionados com a potência do sistema e que trabalham a 380VAC, térmicos eletromagnéticos, contactores e variadores de frequência.

Para evitar interferências, que podem originar anomalias complicadas e por vezes muito difíceis de detetar, foram utilizados cabos blindados em todos os motores elétricos alimentados por variadores de frequência, na ligação dos *encoders* e nos cabos de comunicação. Para reforçar a impossibilidade de ocorrência de interferências, sempre que

possível o encaminhamento de cabos de comando foi fisicamente separado dos cabos de potência.

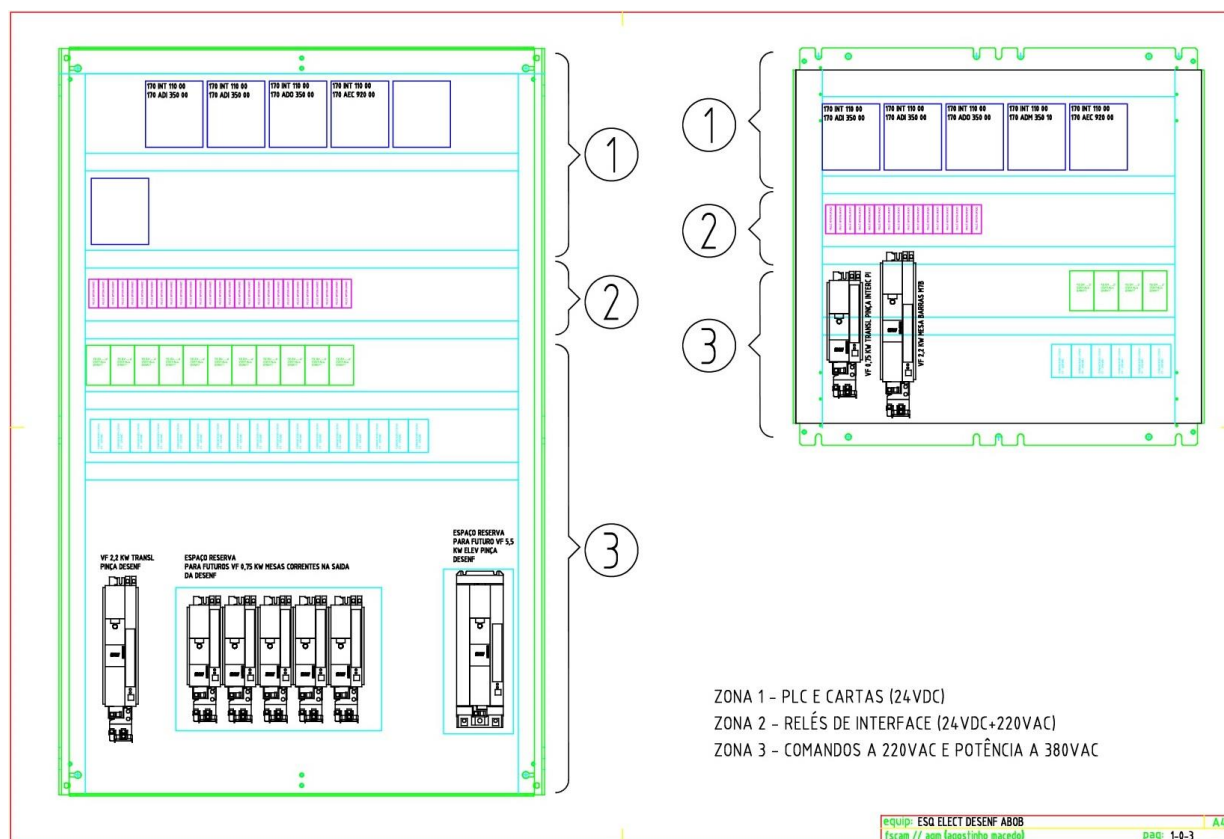


Figura 50: Interior dos quadros elétricos - desenforma de abobadilha

A integração com os sistemas existentes foi desenhada de modo a facilitar ao máximo a tarefa dos operadores, que simplesmente necessitam de ativar um comando nos quadros elétricos para alternar entre a produção de tijolo e abobadilha. Automaticamente, o funcionamento de todos os equipamentos, inclusive os transportadores de movimentação das vagonas comuns a ambos os sistemas é condicionado pelo estado de ativação definido. Na desenforma, uma vez que o mesmo controlador é responsável pela automação das máquinas de desenforma em ambos os produtos, foi possível construir toda a integração ao nível de comando, dentro da programação do autómato. Na enforma a situação é mais complexa porque a linha de tijolo ainda possui um PLC específico que até ao momento não foi possível substituir. Como existem dois equipamentos à saída do descarregador, mesa de rolos com tope pneumático M11 e mesa de tapete MTap comuns a ambos os sistemas, e porque não é possível alterar o programa do controlador da enforma de tijolo, foi desenhada uma solução com relés e contactores controlados pelo novo PLC, que permite manter os sinais do sistema existente quando se está a fabricar tijolo, e implementar a lógica de funcionamento da nova enforma de abobadilha quando esta está ativada (esquema elétrico do quadro consola, páginas [2-1-1] a [2-2-6] no anexo 2.3). Foi possível, deste modo, partilhar os sensores e atuadores (motores e electroválvulas) comuns aos dois sistemas sem interferir com o funcionamento da enforma de tijolo existente com a simples ativação de um botão de comando.

O autómato utilizado nas duas máquinas é o Momentum da Modicon, atualmente do grupo Schneider Electric, especialmente vocacionado para sistemas distribuídos e modulares. A filosofia que está na base destes PLCs é a de proporcionar um sistema de controlo que permite distribuir os pontos de entrada e saída em diferentes locais consoante as necessidades da aplicação. Vocacionado para equipamentos com uma grande ocupação do espaço físico, a sua

modularidade permite selecionar a melhor combinação de CPUs, dispositivos de comunicação e módulos especializados para as tarefas necessárias. A possibilidade de expandir e alargar as áreas de controlo sob a alçada do mesmo CPU a outros equipamentos é uma clara vantagem, que permite economizar em muitas aplicações. É uma filosofia atualmente muito adotada pela generalidade das marcas. No caso em concreto, e devido ao elevado número de pontos de entrada e saída, foi possível separar cada um dos autómatos em vários conjuntos e distribuir as cartas pelos vários quadros que compõem cada sistema, como pode ser observado nos anexos 2 e 3.

Nas páginas [1-1-2] e [1-1-3] no anexo 2.3 apresentam-se os esquemas de ligação de uma carta de 32 entradas e uma de 32 saídas. As saídas das cartas são todas a transístores, o que garante uma durabilidade muito superior às saídas a relés devido à ausência de elementos mecânicos (Your Personal PLC Tutor Site, 2017). Em cada quadro principal estão instaladas 2 fontes de alimentação que convertem os 220VAC em 24VDC, uma para alimentar o autómato e respectivas cartas e outra para a ligação dos sinais de entradas (sensores, botões de comando) e saídas (sinalizadores, relés, etc). Os *encoders* incrementais são ligados com 5 fios e alimentados também a 24VDC (figura 51). A ligação entre as diferentes cartas que compõem cada sistema é efetuada em *interbus*¹⁵.

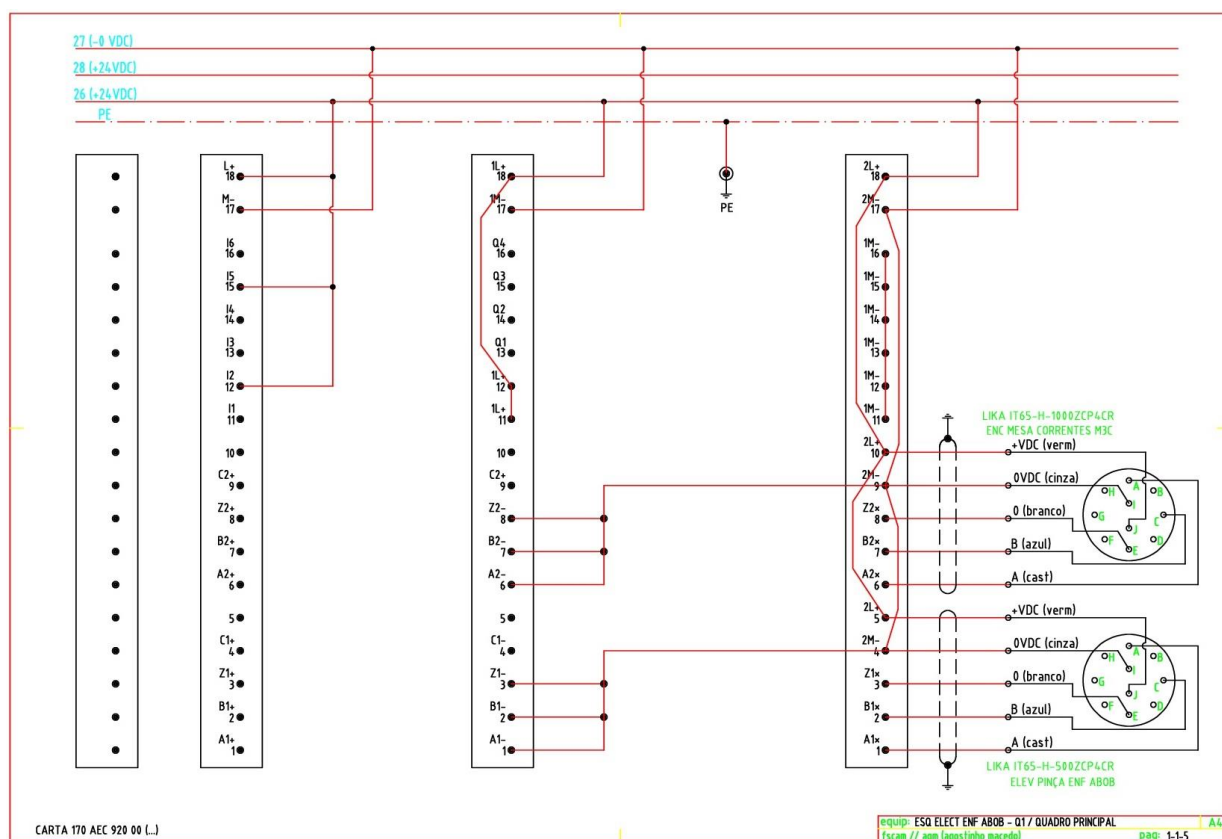


Figura 51: Ligações elétricas de uma carta de contagem rápida (ligação de encoders)

Apesar de o autómato utilizado ser um modelo já com alguns anos, possui uma filosofia modular perfeitamente atual, na linha de autómatos mais recentes. O CPU (171CCC96030) possui capacidade de comunicação por *Ethernet*, com base no protocolo de comunicação Modbus TCP/IP, bastante rápido e utilizado numa grande variedade de plataformas

¹⁵ Rede de campo com comunicação em série e topologia em anel que amplifica o sinal e permite a ligação de dispositivos a longas distâncias.

industriais. Depois de carregar o *firmware* disponibilizado pela Schneider e definir o endereço IP, que tem de estar associado ao MAC Address do CPU, é possível aceder ao PLC a partir de qualquer ponto da rede, quer para a sua programação como para aceder às suas variáveis a partir do OPC ou de qualquer outra aplicação cliente. A ligação por *Ethernet* garante rapidez na introdução de alterações ao programa, permitindo inclusive a sua alteração mesmo que o PLC esteja ligado ao OPC ou a qualquer outro cliente.

4.7 Automação industrial do processo

Em duas empresas dedicadas ao fabrico do mesmo produto é inevitável encontrar sistemas com abordagens diferentes, que refletem a forma como uma determinada organização concebe e organiza o seu processo produtivo. Cabe ao responsável pela automação do sistema, simplificar, integrar e transpor para o seu trabalho as mais valias da organização e eventualmente alterar ou mesmo eliminar operações que não acrescentam valor ao funcionamento do processo. A própria experiência e formação do programador influenciam a abordagem dos problemas e a sua transposição para o projeto final. Em consequência de todos estes fatores é possível concluir que não existem dois projetos idênticos.

Nesta secção serão expostas as principais etapas da construção dos programas dos controladores para as duas linhas de movimentação, desde a preparação da informação associada ao processo e estruturação dos programas, até à integração dos sistemas com as entradas de dados. O objetivo é deixar uma imagem clara sobre a forma como os programas foram organizados, e concebidos, para responder aos desafios colocados pela automação das linhas de movimentação. As secções que são semelhantes aos dois programas são apresentadas em conjunto com o objetivo de explicar os princípios que definiram a sua construção. As estruturas principais de programação, que caracterizam cada um dos sistemas e representam a sua identidade, são apresentadas em separado com a finalidade de transmitir melhor as ideias e os princípios que orientaram cada um dos projetos.

Alguns exemplos extraídos diretamente dos programas de ambos os PLCs, que podem ser consultados na sua totalidade nos anexos 4 e 5, serão utilizados para facilitar esta apresentação e ajudar a explicar a metodologia de programação seguida.

No que respeita às linguagens de programação utilizadas, a linguagem de contactos (*ladder*) e o texto estruturado (*structured text*) preenchem praticamente a totalidade das secções dos programas. Enquanto que a linguagem de contactos envolve essencialmente a programação relacionada com as condições binárias de trabalho dos sistemas (sensores, alarmes, atuadores, etc) e a definição das sequências automáticas de operação, o texto estruturado está mais vocacionado para as situações que envolvem cálculos, transferência de dados do e para o PLC, gestão de memórias e controlo da produção. Este último possui um papel importante na gestão dos programas para os diferentes materiais e no ajustamento automático dos parâmetros dos equipamentos em função das variáveis (dimensões, quantidades de peças por piso, espaçamentos rotações, etc) definidas nos programas, usualmente denominados como *receitas* (*recipes*¹⁶) em automação. Algumas secções utilizam o FBD (*Function Block Diagrams*), nomeadamente na programação dos *encoders* recorrendo às bibliotecas fornecidas pelo fabricante do autómato. As DFB (*Derived Function Blocks*), blocos gráficos previamente criados pelo programador (anexo 6), servem para construir funções que podem ser

¹⁶ Receitas em português, identifica um conjunto de variáveis que constituem um programa e que são transferidas em simultâneo para o PLC e que configuram os equipamentos para o fabrico de um determinado material.

reutilizadas em qualquer parte programa e são úteis para facilitar e agilizar determinadas funções que não fazem parte das bibliotecas base IEC.

Seguidamente, sublinham-se alguns aspetos relacionados com a preparação, organização e estruturação do programa, cuja importância é ainda mais determinante em aplicações com uma certa dimensão, porque ajudam a formatar a abordagem de uma aplicação de uma forma consistente:

- i) Nomenclatura clara dos pontos de entrada e saída e das variáveis utilizadas. De uma forma resumida, sempre que possível devem identificar a sua função e o dispositivo sobre o qual atuam (ex: btATV_ENFAB identifica o botão de comando de ativação da enfora de abobadilha; mtSUBR_PEA identifica o movimento do motor na subida em velocidade rápida da pinça da enfora de abobadilha);
- ii) Inclusão de comentários quer no mapa de declaração de variáveis como ao longo do programa. Não ocupam memória no PLC e ajudam à compreensão do programa;
- iii) Cópia de entradas para facilitar a análise e a programação. Nos contactos normalmente fechados (NC) é muito útil porque permite raciocinar sempre numa lógica de condição positiva e simplifica a construção do programa, principalmente nas situações mais complexas;
- iv) Evitar a utilização de demasiadas interligações e construir o programa em módulos separados. Em sistemas grandes e com alguma complexidade esta regra é essencial para evitar que o programador se perca no labirinto de condições do sistema. Também facilita o arranque do sistema, ajuda na identificação de avarias e facilita a introdução de alterações mais tarde. Esta é uma das razões porque a maior parte dos programadores prefere construir uma nova programação do que alterar uma já existente;

4.7.1 Listagem de pontos de entrada e saída

Na automação de qualquer sistema, o primeiro passo é elaborar uma lista completa dos pontos de entrada e saída que fazem parte do projeto, o que obriga a uma compreensão clara de todas as etapas e operações do processo. Nesta fase é essencial a colaboração dos responsáveis pelo desenvolvimento da solução, e dos operadores e técnicos associados ao processo, para esclarecer e definir o maior número de detalhes sobre o funcionamento do sistema. Com os equipamentos definidos do ponto de vista mecânico e os acionamentos (motores, cilindros pneumáticos, etc) selecionados, importa agora definir os sensores (detetores, células e *encoders*) e compreender o seu papel nas transições e diferentes estados do sistema.

O planeamento nesta fase é determinante para minimizar a quantidade de alterações a introduzir na fase de arranque dos sistemas, mesmo assim inevitáveis em sistemas complexos.

Na figura 52 apresenta-se um excerto, a título exemplificativo, da lista de entradas e saídas da linha de movimentação da enfora. No anexo 2.1 pode ser consultada a lista completa de entradas e saídas da linha da enfora e no anexo 3.1 da linha da desenfora. São a base inicial do trabalho, a sua construção é um exercício de reflexão sobre o sistema e reúne um conjunto de informação que serve diferentes propósitos. Além da descrição, que deve identificar de forma clara o ponto de entrada ou saída, também é atribuído o nome da variável e o número que posteriormente serão introduzidos no PLC e que está associado ao endereço de memória utilizado.

A tabela 2 ilustra as resoluções calculadas para os vários acionamentos.

Tabela 2: Precisão de encoders e contadores de pulsos

Elemento	Resolução	Montagem e elemento final	Fórmula	Precisão teórica
Pinças (enforna, desenforna e paletização)	500 ppr	Carretos 16B2-z15 (d=122,17 mm), montados no veio de acionamento das correntes de elevação;	$\pi*d/500$	0,77 mm
Mesa de correntes M3C (enforna)	1000 ppr	Carretos 10B1-z23 (d=116,59 mm), montados no veio de acionamento das correntes de transporte do material;	$\pi*d/1000$	0,37 mm
Mesa de correntes M5R (enforna)	500 ppr	Carreto livre 08B2-z16 (d1=65,1 mm), acionado pelas correntes; Carreto dos rolos 08B2-Z18 (d2=73,14 mm); Diâmetro dos rolos onde se desloca o material (dr=48,3 mm);	$(d1/d2)*\pi*dr/500$	0,27 mm
Mesa de correntes M3C (desenforna)	500 ppr	Carreto 12B1-z24 (d=145,95 mm), montados no veio de acionamento das correntes de transporte do material;	$\pi*d/500$	0,92 mm
Mesa de barras M7B (desenforna)	500 ppr	Diâmetro do tapete de escames (d= 236,54 mm)	$\pi*d/500$	1,49 mm
Tope final da mesa M5	22 ppr	Carreto 10B1-z15 (d=76,41 mm) montado no veio da transmissão final;	$\pi*d/22$	10,9 mm
Mesa de correntes M8C	26 ppr (carreto 16b1-z26)	Carreto 12B2-z23 (d=139,9 mm) montados no veio da frente de acionamento das correntes de movimentação das paletes;	$\pi*d/26$	16,9 mm
Mesa de correntes M9C	26 ppr	Carreto 12B2-z23 (d=139,9 mm) montados no veio da frente de acionamento das correntes de movimentação das paletes;	$\pi*d/26$	16,9 mm

Uma referência para a utilização de contadores de impulsos, solução conseguida com um carreto normal e um detetor indutivo, em aplicações onde se pretende controlar o posicionamento sem estar em causa uma elevada precisão. Com apenas uma entrada binária do PLC consegue-se evitar o *encoder* e a entrada de contagem rápida do PLC. No entanto, é necessário assegurar que o tempo entre os impulsos é superior ao tempo de ciclo do PLC, o que é apresentado na tabela 3. Esta solução apenas foi aplicada em três situações na linha da desenforna, posicionamento do tope final da mesa 5 e controlo do posicionamento das paletes de madeira nas mesas finais, ambas situações que não exigem uma elevada precisão de posicionamento. Apesar do PLC utilizado não o permitir, alguns PLCs possuem a capacidade para definir tarefas prioritárias, cujo tempo de ciclo é inferior ao tempo de ciclo do programa geral, funcionalidade bastante útil em situações como esta.

Tabela 3: Tempos entre pulsos nos contadores

Elemento	Resolução	Montagem e elemento final	Fórmula	Tempo entre pulsos
Tope final da mesa M5	22 ppr	Carreto 10B2-z21 (d1=85,21 mm) montado no moto-redutor (n1=57 rpm); Carreto 10B2-z17 (d2=69,12 mm) montado no veio de transmissão final; Carreto de pulsos 08B1-z22;	$n2 = n1 \cdot d1 / d2$ $n2 = 70,27 \text{ rpm}$ $t = (60/n2)/z \cdot 1000$	38,8 ms
Mesas de correntes M8C e M9C	26 ppr	Carreto 16B2-z15 (d1=122,17 mm) montado no moto-redutor (n1=16 rpm); Carreto 16B2-z19 (d2=154,32 mm) montado no veio transmissão final; Carreto de pulsos 08B1-z26;	$n2 = n1 \cdot d1 / d2$ $n2 = 16 \cdot 122,17 / 154,32$ $n2 = 12,67 \text{ rpm}$ $t = (60/n2)/z \cdot 1000$	182,1 ms

4.7.3 Secções e organização dos programas

Cada programa é organizado em várias secções onde cada uma cobre uma parte específica associada a uma determinada função. A divisão em pequenas secções permite uma melhor organização, facilita a tarefa de programação e simplifica a transferência de alterações para o PLC uma vez que a mesma é realizada por secções.

Sempre que uma parte do programa implica a programação em mais do que uma linguagem, em ambos os sistemas isto acontece frequentemente com o *ladder* e o ST, surgem secções com nomes semelhantes (por exemplo pAPisovg1 e pAPisovg2) e que trabalham em conjunto. O objetivo é aproveitar as vantagens proporcionadas por cada uma das linguagens, o *ladder* no campo das instruções lógicas e o texto estruturado nos cálculos matemáticos com variáveis inteiras e reais.

A primeira secção consiste numa cópia das entradas do sistema e destina-se a facilitar a implementação da lógica de comando. Na utilização de contactos normalmente fechados, por razões de segurança ou pela necessidade de introdução de condições de bloqueio do sistema em casos de falha do sinal de entrada, a inversão da condição da entrada facilita a construção do programa, porque permite uma análise baseada apenas em condições positivas. Uma vez que a entrada é copiada para uma variável binária que a partir desse ponto é utilizada ao longo do resto do programa, qualquer alteração futura no tipo de contacto associado à entrada fica simplificado.

A secção dedicada às permissões de trabalho permite centralizar numa secção todas condições que à partida autorizam o funcionamento dos diferentes acionamentos e que resultam de condições relacionadas com a segurança (emergências e sensores de segurança) e avarias elétricas (disparos térmicos dos motores ou falhas nos variadores de frequência). Essas condições, que dependem essencialmente do desenho do sistema elétrico, são posteriormente introduzidas nas instruções de controlo dos acionamentos. Esta separação diminui a complexidade da programação e reduz a probabilidade do esquecimento de condições em sistemas onde é preciso lidar com dezenas de acionamentos.

Existe uma secção exclusivamente dedicada às sinalizações cuja função é gerir toda a informação visual e sonora que deve ser colocada nas consolas e restantes quadros elétricos para interagir com o operador. Estes podem ser alarmes resultantes de avarias do sistema, de

emergências acionadas, ou simples sinalizadores que confirmam o movimento dos vários equipamentos.

As secções identificadas como “sistema” estão relacionadas com funções gerais da programação, como os intermitentes para as sinalizações ou os pulsos para as transferências de programas entre as entradas de dados e os PLCs. Como não são específicas de nenhuma função ou atividade da máquina, representam sempre uma opção possível para colocar as partes do programa que não encaixam nas outras secções.

As secções referidas anteriormente representam práticas que simplificam a tarefa de programação, na medida que dividem o programa e permitem uma abordagem direcionada nas funções do programa. Auxiliam também na simplificação da programação das sequências automáticas de funcionamento, que não necessitam de incorporar este tipo de condições relacionadas com as funções básicas do sistema.

4.7.4 Controlo da produção

As duas secções referentes ao controlo da produção destinam-se ao registo do controlo da produção, fazendo a ponte entre as condições de processo que asseguram uma contabilidade fiável da produção e o tratamento dessa informação num formato compatível para a sua integração com a base de dados do sistema de supervisão. Apesar da aplicação de supervisão estar desenhada para colocar a informação (quantidade, identificação do material e data) na base de dados em mais do que uma forma e sempre que se verifica uma alteração nas variáveis que registam a produção no PLC, por questões de segurança, este armazena em *arrays* de variáveis internas as quantidades produzidas para cada tipo de material ao longo de uma semana.

A programação em linguagem de contactos ocupa-se das condições e eventos que ativam a contagem em função do processo produtivo, e na programação em texto estruturado (ST) realizam-se os cálculos matemáticos para atualização das variáveis (*arrays*) que acumulam a produção para os vários materiais e respetivos *resets* diários. Cada material está associado a uma variável inteira *idmat* que identifica o produto em fabrico nos PLCs e possui uma correspondência direta na base de dados associada ao código de identificação do material na empresa. No caso da enfora, ponto intermédio do processo, apenas se contabilizam as estivas de material enornado essencialmente para controlo da produtividade do posto de trabalho. Na desenfora, última etapa do processo produtivo, registam-se as paletes de produto acabado fabricado e que determinam a produção global da empresa. Ao fim de vários meses de trabalho, e depois de comprovada a fiabilidade do controlo automático da produção, foi possível abandonar o método manual de registo da produção. Desta forma conseguiu-se eliminar papéis, erros de introdução associados ao registo humano, e libertar os operadores para outras tarefas, mais importantes e relacionadas com a operação dos equipamentos e controlo de qualidade.

4.7.5 Técnicas da programação de acionamentos

As sequências automáticas de trabalho para os acionadores que compõem o sistema foram implementadas em linguagem de contactos, recorrendo ao apoio do texto estruturado sempre que as condições do problema determinem a necessidade de utilização cálculos sobre as variáveis de controlo.

O princípio utilizado no comando das saídas (*coils*) que controlam os atuadores presentes neste trabalho (motores e electroválvulas), são relativamente simples e podem ser visualizados nas figuras 54, 56, 57 e 58. A ideia é separar a lógica de comando associada à

sequencia automática, do controlo das funções operacionais ligadas ao acionamento das saídas. Para cada acionamento do sistema existe uma parte do programa que centraliza a forma como ele pode ser atuado, permitindo assim uma identificação clara da origem do comando. O movimento do motor dos rolos da mesa M1R (figura 54) apenas pode ser determinado pelo botão manual (btROLOS_M1Rc) ou por uma das memórias que definem a sua ativação automática (M1R_at1, M1R_at2, M1R_at3 ou M1R_at4), desde que a condição de permissão de trabalho (permTB_rolosM1R) o autorize. Deste modo, cada acionamento fica centralizado num único diagrama de contactos e as ordens de trabalho que definem a sequência automática de funcionamento podem facilmente ser acrescentadas ou eliminadas em qualquer altura. Trata-se de separar as partes operacionais da programação das instruções relacionadas com a sequência automática de funcionamento, com a finalidade de diminuir a complexidade destas e simplificar o programa em termos gerais.

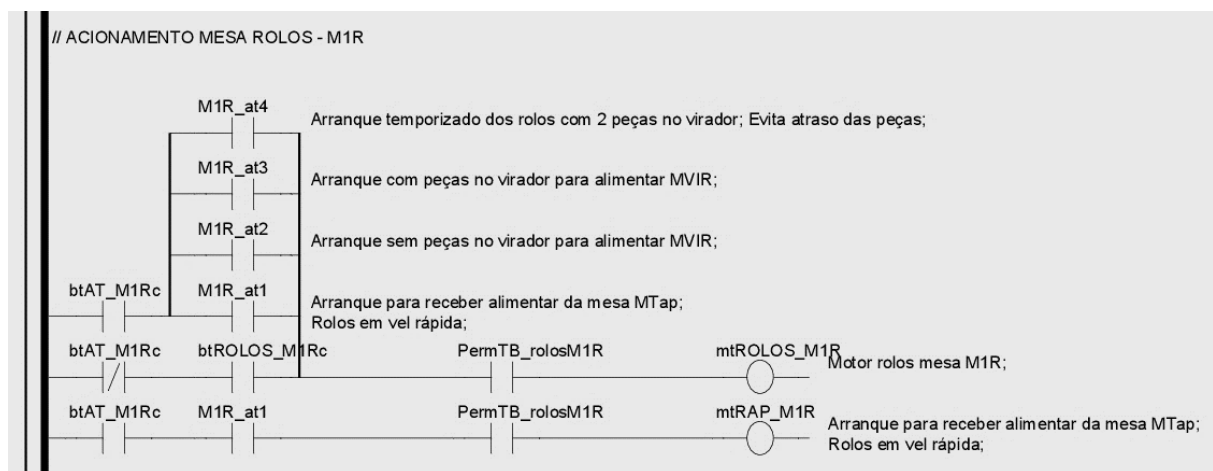


Figura 54: Acionamento dos rolos da mesa M1R

Para a programação da electroválvula pneumática de dois estados da figura 55, que está presente na maioria dos acionamentos pneumáticos, foi aplicada uma metodologia semelhante apesar de algumas diferenças relacionadas com o tipo de atuador.

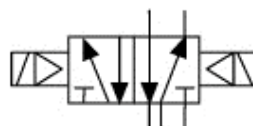


Figura 55: Eletroválvula de 2 posições e 5 vias de comando por solenoide

Na figura 56 é apresentado um exemplo dessa programação. Aqui, a mudança de estado da electroválvula, que posteriormente conduz ao movimento do tope, pode ser conseguida com um pulso manual no respetivo botão de comando (bt_topM1Rc), desde que o controlo do dispositivo em causa esteja em modo manual (condição definida pela negação de btAT_M1Rc), ou apenas com a instrução automática definida em cada um dos movimentos (M1R_TopD_at ou M1R_TopS_at), quando o controlo do equipamento está em modo automático (condição definida por btAT_M1Rc). Como estamos perante uma electroválvula de dois estados, o PLC envia um sinal por um tempo pré-definido e suficiente (TmEstado_ev) para que se verifique a mudança de estado da electroválvula que retém a respetiva posição.

Está em causa o acionamento do motor e o controlo das duas velocidades, indispensáveis para conseguir uma movimentação rápida e uma desaceleração suave para garantir uma boa precisão de posicionamento. Apesar da utilização de uma fotocélula para definir a paragem das pinças na altura correta, variável em função do número de pisos empilhados na vagona, aplicou-se um *encoder* que permite ao sistema conhecer a posição vertical das pinças em cada instante. Além das seguranças que impedem uma eventual abertura das pinças no momento incorreto, o *encoder* também permite definir um intervalo para a entrada da velocidade lenta (parâmetro definido pelo utilizador nas entradas de dados), que é traduzido na condição PEA_DescL, programado no código estruturado apresentado na figura 58. Essa condição, por sua vez é utilizada na programação em *ladder* no acionamento do respetivo motor, não sendo necessário mais nenhuma referência à alteração de velocidade no resto do programa. Desta forma, a programação da sequência de trabalho automática das pinças fica simplificada porque não necessita de incluir nenhuma referência sobre o controlo da velocidade. Todo o restante código associado ao movimento de elevação desta pinça poder ser visualizado nos anexos 4.20 e 4.21.

```
(* Define movimentos em vel lenta na descida de PEA *)
IF (PEA_PAEixoR = 1) AND (enc1U > PEA_ptHMRec - PEA_ptDescL) THEN (* No eixo de recolha de material *)
  PEA_DescL := 1;
ELSIF (PEAdpeE_at4 = 1) AND (enc1U > arrH_pvg[pvgC] - PEA_ptDescL) THEN (* No eixo de entrega de material *)
  PEA_DescL := 1;
ELSE
  PEA_DescL := 0;
END_IF;
```

Figura 58: Texto estruturado acionamento elevação da pinça da enfora a 2 velocidades

4.7.6 Transferência de programas

Parte da transferência de informação entre as entradas de dados, programa de supervisão ou consolas HMI, e o PLC são parâmetros que estão relacionados com a configuração da máquina e que asseguram o seu correto funcionamento. Temporizações, distâncias e outros parâmetros fixos relacionados com a construção das máquinas, que podem ser alterados a partir das entradas de dados, mas que depois de ajustados no arranque inicial não necessitam de ser alterados, são nesta secção convertidos para o formato adequado e colocados em variáveis internas do PLC, para posteriormente serem utilizadas no resto do programa. Estão em causa os tempos de mudança de estado das electroválvulas, atrasos ao fechar as pinças para levantar o material, atrasos para acumulação de material nos topes e distâncias físicas necessárias para a execução do programa e que são constantes, ou seja não variam com o tipo de material em fabrico.

Os fatores de resolução dos *encoders* (pontos por milímetros) utilizados ao longo do programa e dependentes da resolução dos *encoders* e dos diâmetros dos elementos finais das transmissões dos movimentos onde estão montados os *encoders*, também são aqui calculados e colocados nas respetivas variáveis. Apesar desta informação possuir um carácter constante, a sua colocação na entrada de dados permite facilitar a sua alteração mais tarde, na eventualidade de tal ser necessário.

Finalmente, é necessário a colocação em *arrays* das constantes associadas às alturas pré-definidas dos pisos das pinças (enfora, desenfora e paletização final) e das variáveis associadas aos programas de materiais. As variáveis objeto de transferência a partir da entrada de dados começam com as letras “pc” (exemplo: pcH_p1vg - altura em milímetros do piso 1 da vagona) para facilitar a sua identificação e as variáveis associadas aos programas dos

materiais começam com as letras “pg” (exemplo: pg12_NP_p1e - numero peças do piso 1 entrada) seguidas de uma numeração sequencial que identifica o número da variável do programa de material.

4.7.7 Estrutura da programação do PLC da enforma

Esta secção e a próxima pretendem apresentar a estrutura dos programas dos PLCs da enforma e desenforma, e descrever o funcionamento automático das principais etapas de cada linha. Podem ser entendidos como uma espécie de manual de instruções sobre a programação implementada e nesse sentido são essencialmente descritivos e possuem inúmeras referências aos programas apresentados em anexo.

A programação da linha de enforma assenta num conjunto de variáveis (tabela 4) introduzidas em bloco (*recipes*), que definem o funcionamento dos equipamentos que compõem o sistema para cada material. Podem ser criados 20 programas diferentes, cada um constituído por 27 variáveis inteiras armazenadas num *array* bidimensional 20x30. A partir do HMI ou do computador o operador apenas tem de introduzir o material e carregar para o PLC o programa adequado ao modelo em fabrico.

As primeiras variáveis do programa identificam a peça e respetivas dimensões. O número inteiro de identificação do material *idmat* define o número do programa no PLC e ao mesmo tempo faz a ligação com a identificação do material na base de dados informática, onde também são armazenados os programas para os vários materiais, juntamente com as tabelas que efetuam o registo e controlo da produção automático. As dimensões declaradas para as peças e as variáveis que caracterizam o piso de entrada são utilizadas pelo PLC para efetuar os espaçamentos na construção dos pisos de entrada (figura 28), determinando os avanços da mesa de correntes M3C a seguir ao virador. O sistema foi desenhado a pensar na possibilidade de variar os espaçamentos para os vários pisos da vagona para ajudar na regulação da cozedura do material. Por conseguinte, é necessário ter presente que uma estiva leva sempre 6 pisos de vagona, o que corresponde a 3 ou 4 pisos de entrada, conforme se trate de um modelo de abobadilha de 40 ou de 32 cm.

O autómato tem de saber continuamente qual o estado da linha no que respeita à fiada em curso ou em construção no piso de entrada (*ppeC_P*), ao piso de entrada em curso (*ppeC_PI*) e ao piso da vagona em curso (*pvgC*). A programação associada à atualização destas variáveis pode ser consultada no anexo 4.17, onde também é possível perceber o significado destas e outras variáveis internas, nos vários comentários incluídos na respetiva secção do programa.

Essa informação é colocada no HMI para que o operador possa confirmar a sincronização do sistema e faça o acerto das fiadas e pisos, sempre que tal seja necessário em virtude da remoção de peças defeituosas ou na mudança de material. As secções em texto estruturado *ppe_PPisoEntrada2* (anexo 4.17) e *PEA_PEnformaAb2*(anexo 4.21), entre outras funções e de acordo com a evolução do processo, atualizam continuamente as variáveis internas, fazem a leitura das variáveis definidas no programa de material (tabela 4), calculam os espaçamentos dos próximos movimentos associados aos *encoders* e, em função do estado do sistema, determinam os próximos movimentos da linha.

Tabela 4: Lista de variáveis para programas de materiais na enforma de abobadilha

Nome	Endereço	Descrição
pg01_idmat	400162	id material em produção;
pg02_mat	401570	Desig material em producao;

Tabela 4 (continuação): Lista de variáveis para programas de materiais na enfora de abobadilha

pg03_matL	401571	pc Largura (mm) do material em producao;
pg04_matC	401572	pc Comprimento (mm) do material em producao;
pg05_matA	401573	pc Altura (mm) do material em producao;
pg06_Ei_p1e	401611	pc Espacamento inicial (mm) do piso 1 entrada;
pg07_Ei_p2e	401612	pc Espacamento inicial (mm) do piso 2 entrada;
pg08_Ei_p3e	401613	pc Espacamento inicial (mm) do piso 3 entrada;
pg09_Ei_p4e	401614	pc Espacamento inicial (mm) do piso 4 entrada;
pg10_Ei_p5e	401615	pc Espacamento inicial (mm) do piso 5 entrada;
pg11_Ei_p6e	401616	pc Espacamento inicial (mm) do piso 6 entrada;
pg12_NP_p1e	401621	pc numero peças do piso 1 entrada;
pg13_NP_p2e	401622	pc numero peças do piso 2 entrada;
pg14_NP_p3e	401623	pc numero peças do piso 3 entrada;
pg15_NP_p4e	401624	pc numero peças do piso 4 entrada;
pg16_NP_p5e	401625	pc numero peças do piso 5 entrada;
pg17_NP_p6e	401626	pc numero peças do piso 6 entrada;
pg18_Travdir_p1vg	401631	pc Travamento (almofada) para a direita do piso 1 da vag (1/0);
pg19_Travdir_p2vg	401632	pc Travamento (almofada) para a direita do piso 2 da vag (1/0);
pg20_Travdir_p3vg	401633	pc Travamento (almofada) para a direita do piso 3 da vag (1/0);
pg21_Travdir_p4vg	401634	pc Travamento (almofada) para a direita do piso 4 da vag (1/0);
pg22_Travdir_p5vg	401635	pc Travamento (almofada) para a direita do piso 5 da vag (1/0);
pg23_Travdir_p6vg	401636	pc Travamento (almofada) para a direita do piso 6 da vag (1/0);
pg24_dEvg	401520	pc Distancia (mm) entre eixo inicial da mesa M3C ao eixo do piso de entrada/vag;
pg25_LPiso	401530	pc Largura (mm) do piso a usar como constante (depende do lastro da vagona); Garante que nenhuma largura de piso ultrapassa este limite;
pg26_Npvg	401580	pc Numero de pisos na vagona;
pg27_Npe	401585	pc Numero de pisos de entrada para 1 estiva;

A sequência de trabalho na enfora começa com a mesa de rolos MNery e a mesa de tapete MTap, que recebem o material do descarregador e o entregam à mesa de rolos M1R com a enfora de abobadilha ativada. Sem material em M1R, os rolos da mesa M1R são acionados para receber o material da mesa de tapete MTap (M1R_at1 do anexo 4.15). Quando o piso de material atinge a célula celTOP_M1R junto ao tope, um tempo pré-configurado garante o agrupamento das peças no sentido do movimento, o tope baixa e o agrupador fecha para alinhar lateralmente o material. A partir deste ponto, inicia-se a sequência de construção de piso, uma sequência automática que resulta do movimento conjunto da mesa de rolos M1R (M1R_at2 e M1R_at3 do anexo 4.15), da mesa de correntes M2C (M2C_at1 e M2C_at2), da rotação do virador VIR (MVIR_at1 e MVIR_at2) e das correntes da mesa M3C (M3C_at).

O virador faz a rotação das peças em espera na mesa de rolos M1R, geralmente as 5 fiadas de um piso de material que sai das estantes. O arranque do virador a partir de uma posição angular fixa, o alinhamento do piso pelo tope e uma fotocélula *celM2C_AVIRc* colocada na entrada do virador (figura 41) que determina o arranque da estrela, garantem a sincronização entre o avanço das fiadas e a rotação do virador em contínuo. O virador pode executar a sequência de duas formas distintas. Na primeira possibilidade, sequência definida em *MVIR_at1*, o virador arranca sem peças a partir da posição de repouso, uma vez que todas as fiadas do piso da estante no movimento anterior foram colocadas no piso de entrada. Em alternativa, sequência *MVIR_at2*, quando a operação de rotação foi interrompida pela falta de autorização para adicionar peças ao piso de entrada, o virador arranca com peças para concluir a operação de rotação das fiadas ainda em falta. O sistema tem de estar preparado para lidar com esta situação sem perder a sincronização, uma vez que um piso da estante apenas leva 5 fiadas e um piso de entrada pode levar, dependendo do material, diferente número de peças. Duas fotocélulas (figura 41) colocadas no final da mesa de correntes M2C, são fundamentais para assegurar o correto funcionamento da sequência, a primeira faz a interrupção do movimento do virador e da mesa de correntes M2C quando não se verifica a condição *MVIR_avaP* autorizando o avanço da próxima peça para juntar ao piso de entrada, e a segunda é uma fotocélula de *reset* do valor do *encoder*, que define um plano em relação ao qual é medido o deslocamento da próxima peça.

A variável *ppeC_P* regista a peça em curso na construção do piso de entrada e tem de ser atualizada em cada movimento das correntes de M3C. Quando é atingido o número total de peças (*ppeC_P* = *ppeC_NP*) no piso de entrada, a mesa de correntes M3C avança com o piso de entrada completo até à posição de alinhamento com o eixo da vagona, distância pré-definida na variável *pg24_dEvg* do programa de material. Enquanto as correntes efetuam este percurso de avanço do piso de entrada a operação de rotação das peças é interrompida (*MVIR_avaP* = 0) mas, assim que o piso atinge a posição final, a mesa de rolos M3R sobe e levanta o material, ao mesmo tempo que liberta a mesa de correntes M3C para o início de um novo piso de entrada.

Com a mesa de rolos M3R na posição superior, o piso de entrada completo é encaminhado no sentido do eixo da enfora. Como o piso de entrada possui 3 ou 4 fiadas (figura 28) e o piso de vagona apenas duas (figura 29), é necessário fazer a desmultiplicação das fiadas tendo em vista a preparação do piso da vagona para a respetiva recolha pelas pinças da enfora PEA na mesa M5R. Primeiro, as fiadas avançam em conjunto para o final da mesa M3R, sequência automática *M3R_at1*, e posicionam-se à entrada da mesa de rolos intermédia M4R. Com a mesa M4R livre, uma fotocélula *celSMat_M4Rc* adequadamente posicionada, faz a separação das fiadas do piso de entrada, garantindo o avanço individual (*M3R_at2*) de cada uma para a mesa M4R. Com a fiada totalmente posicionada na mesa de rolos M4R, o movimento definido em *M4R_at1* movimenta a fiada até ao tope da mesa M4R. Uma vez que uma fiada nesta fase, é constituída por um elevado número de peças, mais de duas dezenas no caso dos modelos mais estreitos, o variador de frequência da mesa M4R garante uma redução de velocidade no encosto das peças ao tope, permitindo o realinhamento das peças antes de avançarem para a mesa de rolos M5R, sem colocar em causa o posicionamento no sentido transversal.

A construção do piso da vagona inicia-se com os movimentos *M4R_at2* e *M5R_at1* para o avanço da primeira fiada e *M4R_at2* e *M5R_at2* no avanço segunda da fiada. No segundo movimento, as duas fiadas deslocam-se até que seja atingido o eixo de carga, distância determinada pelo *encoder* da mesa M5R ou pela fotocélula *celPASEG_M5Rc*, que também atua como segurança para garantir que o piso não ultrapassa a distância adequada.

Com o piso da vagona posicionado no eixo de carga, a pinça PEA recolhe as duas fiadas e coloca-as na vagona a enforar. Todos os atuadores pneumáticos, 18 cilindros pneumáticos e uma almofada de insuflar que serve de apoio central ao levantamento das peças, e atuadores eletromecânicos da elevação e translação, são programados nas secções PEA_PEnfornaAb1 (*ladder*) e PEA_PEnfornaAb2 (texto estruturado). Esta última é responsável pela atualização da variável interna pvgC que armazena o piso da vagona em curso, e em função do seu valor controla o ponto de desaceleração na descida das pinças com material para os vários pisos, e ativa a segurança para reforçar o impedimento da abertura das pinças com material através da variável PEA_segAbrir.

Ambos os movimentos de elevação e translação são executados a duas velocidades, na elevação com um motor de duas velocidades e na translação com variador de frequência. A descida das pinças sem material (PEAdpeR_at1) apenas pode suceder no eixo de recolha, e em carga (PEAdpeE_at4) no eixo de entrega ou eixo de enfora. Na subida (PEAspeE_at5 e PEAspeR_at2) passa-se o inverso, com as pinças a subirem em vazio no eixo de entrega e a descerem em carga no eixo de recolha.

A programação da translação das pinças, sequências PEAava_at3 e PEAreC_at6, apenas possui dois movimentos em automático, o avanço das pinças com material e o recuo das pinças em vazio. Por uma questão de segurança e por se verificar que no momento não é necessário acelerar o processo, a translação das pinças PEA apenas se realiza na posição superior. Mais tarde, e caso seja necessário ganhar tempo, é possível colocar as pinças a realizarem os dois movimentos, translação e elevação, em simultâneo. A variação de velocidade na translação é comandada por detetores indutivos e na elevação por *encoder*. A colocação do *encoder* incremental na elevação, resulta da variação da altura de empilhamento do material ao longo da enfora de cada vagona. No caso concreto, cada estiva (figura 30) é formada por 6 pisos e a altura de cada um é carregada para o PLC através de variáveis na entrada de dados (pCH_p1vg a pCH_p10). Conhecendo o piso de destino da pinça, o sistema faz a aproximação ao piso antecipadamente numa distância configurada na entrada de dados. A paragem e abertura das pinças para largar o material é determinada por uma fotocélula celPADESC_PINCc de deteção direta no material, que deteta o plano da altura do piso onde será largado o material. A utilização da fotocélula juntamente com o *encoder* possibilita a compensação de eventuais variações na altura dos pisos entre vagonas, e que podem resultar de uma série de circunstâncias, como a deterioração dos lastros ou pequenas variações na altura das peças.

Assim que o último piso é colocado na vagona, o impulsor hidráulico (anexo 1.21) é ativado para avançar e posicionar a vagona no eixo da enfora e iniciar um novo ciclo com a enfora da estiva seguinte. A alimentação de vagonas desde o início da via 3 até ao impulsor é efetuada pelo guincho reversível da via 3 GPV3 (anexo 1.20), cuja sequência de trabalho depende do estado de ativação da enfora de abobadilha definido pelo operador. Na figura apresentada no anexo 1.19 é possível visualizar o percurso das vagonas vazias e os fins-curso de presença de vagona que orientam as sequências automáticas programadas na secção Transpvia3 do programa.

Finalmente, uma referência para a programação dos acionadores pneumáticos presente na secção PEA_PEnfornaAb1 da pinça PEA. Novamente, a preocupação em dividir a programação em elementos pequenos é fundamental para evitar a complexidade que pode conduzir a falhas do sistema. O comando dos vários acionadores, em modo manual e automático são apresentados na mesma secção e seguem a mesma abordagem apresentada no ponto 4.7.5. São programadas duas sequências automáticas, uma para fechar as pinças na recolha e outra para abrir na entrega do material. Um sublinhado para o cilindro pneumático responsável pelo travamento em espinha do piso da vagona, que tem de obedecer a uma sequência alternada

entre pisos para garantir o travamento das peças. O respetivo movimento é executado em função do programa introduzido para o material (variáveis pg18_Travdir_p1vg a pg23_Travdir_p6vg) que transfere a condição para as sequências automáticas PEA_dAlmofD_at e PEA_dAlmofE_at.

4.7.8 Estrutura da programação do PLC da desenforna

Apesar dos desafios colocados pela programação da desenforna serem distintos, em resultado de um *layout* mais complexo (figura 37) e um maior número de equipamentos integrados na mesma linha, a estruturação do programa parte, tal como na enforna, de um conjunto de variáveis (tabela 5) também introduzidas em bloco e que caracterizam o funcionamento da linha para os vários modelos de peças. Essas variáveis são armazenadas no PLC num *array* bidimensional 20x50, permitindo a criação de 20 programas diferentes, cada um constituído por 46 variáveis inteiras. A utilização da mesma paleta de madeira para a embalagem final obriga à construção de pisos de paletes diferentes, quer em número quer na disposição das peças para os vários modelos, com implicações nos espaçamentos e nas sequencias de trabalho ao nível da programação. A mesa de rolos MR6 e a pinça intercalar PI (figura 37 e 38), esta última responsável pela colocação das fiadas cruzadas, são elementos da linha que são ativados ou desativados em função do tipo de piso em construção. Sem contar com o número de peças em cada fiada, que variam de acordo com a respetiva altura, na figura 32 é possível observar os três tipos de pisos que podem atualmente ser construídos pela linha de desenforna.

Tal como na programação da enforna, a informação sobre as peças em fabrico, identificação, designação e dimensões, são as primeiras variáveis do programa. O número de pisos por paleta é definido na variável pg06_Nppal. Atualmente, a opção recaiu no fabrico de paletes com apenas 4 pisos, mas como tem sentido em termos comerciais manter em aberto a possibilidade de paletes com 5 pisos, toda a linha e programação foram preparadas para essa possibilidade. A partir daqui, temos um conjunto de variáveis que caracterizam o funcionamento da linha para os vários pisos que compõem cada paleta. No momento, todos os pisos na mesma paleta são idênticos, mas é possível que futuramente seja necessário alterar o formato dos pisos dentro da mesma paleta, caso tal implique um melhor aproveitamento do espaço disponível para colocação de peças.

Tabela 5: Lista de variáveis para programas de materiais na desenforna de abobadilha

Nome	Endereço	Descrição
pg01_idmat	400162	id material abobadilha;
pg02_mat	401570	Desig material em producao;
pg03_matL	401571	pc Largura (mm) do material em producao;
pg04_matC	401572	pc Comprimento (mm) do material em producao desenf abob;
pg05_mata	401573	pc Altura (mm) do material em producao desenf abob;
pg06_Nppal	401584	pc Numero de pisos da paleta;
pg07_NF_p1pal	401611	pc Numero de fiadas do piso 1 da paleta;
pg08_NF_p2pal	401612	pc Numero de fiadas do piso 2 da paleta;
pg09_NF_p3pal	401613	pc Numero de fiadas do piso 3 da paleta;
pg10_NF_p4pal	401614	pc Numero de fiadas do piso 4 da paleta;
pg11_NF_p5pal	401615	pc Numero de fiadas do piso 5 da paleta;

Tabela 5 (continuação): Lista de variáveis para programas de materiais na desenforma de abobadilha

pg12_NPF_p1pal	401621	pc Numero de pecas de cada fiada do piso 1 da palete;
pg13_NPF_p2pal	401622	pc Numero de pecas de cada fiada do piso 2 da palete;
pg14_NPF_p3pal	401623	pc Numero de pecas de cada fiada do piso 3 da palete;
pg15_NPF_p4pal	401624	pc Numero de pecas de cada fiada do piso 4 da palete;
pg16_NPF_p5pal	401625	pc Numero de pecas de cada fiada do piso 5 da palete;
pg17_NPFC_p1pal	401631	pc Numero de pecas das fiadas cruzadas do piso 1 da palete;
pg18_NPFC_p2pal	401632	pc Numero de pecas das fiadas cruzadas do piso 2 da palete;
pg19_NPFC_p3pal	401633	pc Numero de pecas das fiadas cruzadas do piso 3 da palete;
pg20_NPFC_p4pal	401634	pc Numero de pecas das fiadas cruzadas do piso 4 da palete;
pg21_NPFC_p5pal	401635	pc Numero de pecas das fiadas cruzadas do piso 5 da palete;
pg22_Rot_p1Pal	401641	pc Rotacao do piso 1 da palete;
pg23_Rot_p2Pal	401642	pc Rotacao do piso 2 da palete;
pg24_Rot_p3Pal	401643	pc Rotacao do piso 3 da palete;
pg25_Rot_p4Pal	401644	pc Rotacao do piso 4 da palete;
pg26_Rot_p5Pal	401645	pc Rotacao do piso 5 da palete;
pg27_DtopFN_p1pal	401651	Distancia (mm) do top final nas fiadas normais do piso 1 da palete;
pg28_DtopFN_p2pal	401652	Distancia (mm) do top final nas fiadas normais do piso 2 da palete;
pg29_DtopFN_p3pal	401653	Distancia (mm) do top final nas fiadas normais do piso 3 da palete;
pg30_DtopFN_p4pal	401654	Distancia (mm) do top final nas fiadas normais do piso 4 da palete;
pg31_DtopFN_p5pal	401655	Distancia (mm) do top final nas fiadas normais do piso 5 da palete;
pg32_DtopFC_p1pal	401661	Distancia (mm) do top final nas fiadas cruzadas do piso 1 da palete;
pg33_DtopFC_p2pal	401662	Distancia (mm) do top final nas fiadas cruzadas do piso 2 da palete;
pg34_DtopFC_p3pal	401663	Distancia (mm) do top final nas fiadas cruzadas do piso 3 da palete;
pg35_DtopFC_p4pal	401664	Distancia (mm) do top final nas fiadas cruzadas do piso 4 da palete;
pg36_DtopFC_p5pal	401665	Distancia (mm) do top final nas fiadas cruzadas do piso 5 da palete;
pg37_dAvaUfiM7_p1pal	401681	pc Dist (mm) arranque última fiada piso 1 pal na passagem para M7;
pg38_dAvaUfiM7_p2pal	401682	pc Dist (mm) arranque última fiada piso 2 pal na passagem para M7;
pg39_dAvaUfiM7_p3pal	401683	pc Dist (mm) arranque última fiada piso 3 pal na passagem para M7;
pg40_dAvaUfiM7_p4pal	401684	pc Dist (mm) arranque última fiada piso 4 pal na passagem para M7;
pg41_dAvaUfiM7_p5pal	401685	pc Dist (mm) arranque última fiada piso 5 pal na passagem para M7;
pg42_Cinta_p1pal	401691	pc Cintagem (0-1) do piso 1 palete;
pg43_Cinta_p2pal	401692	pc Cintagem (0-1) do piso 2 palete;
pg44_Cinta_p3pal	401693	pc Cintagem (0-1) do piso 3 palete;
pg45_Cinta_p4pal	401694	pc Cintagem (0-1) do piso 4 palete;
pg46_Cinta_p5pal	401695	pc Cintagem (0-1) do piso 5 palete;

A figura 59 ajuda a compreender a construção do piso da paleta na linha da desenforma para os 3 cenários possíveis, cada um associado a um tipo de piso diferente (figura 32).

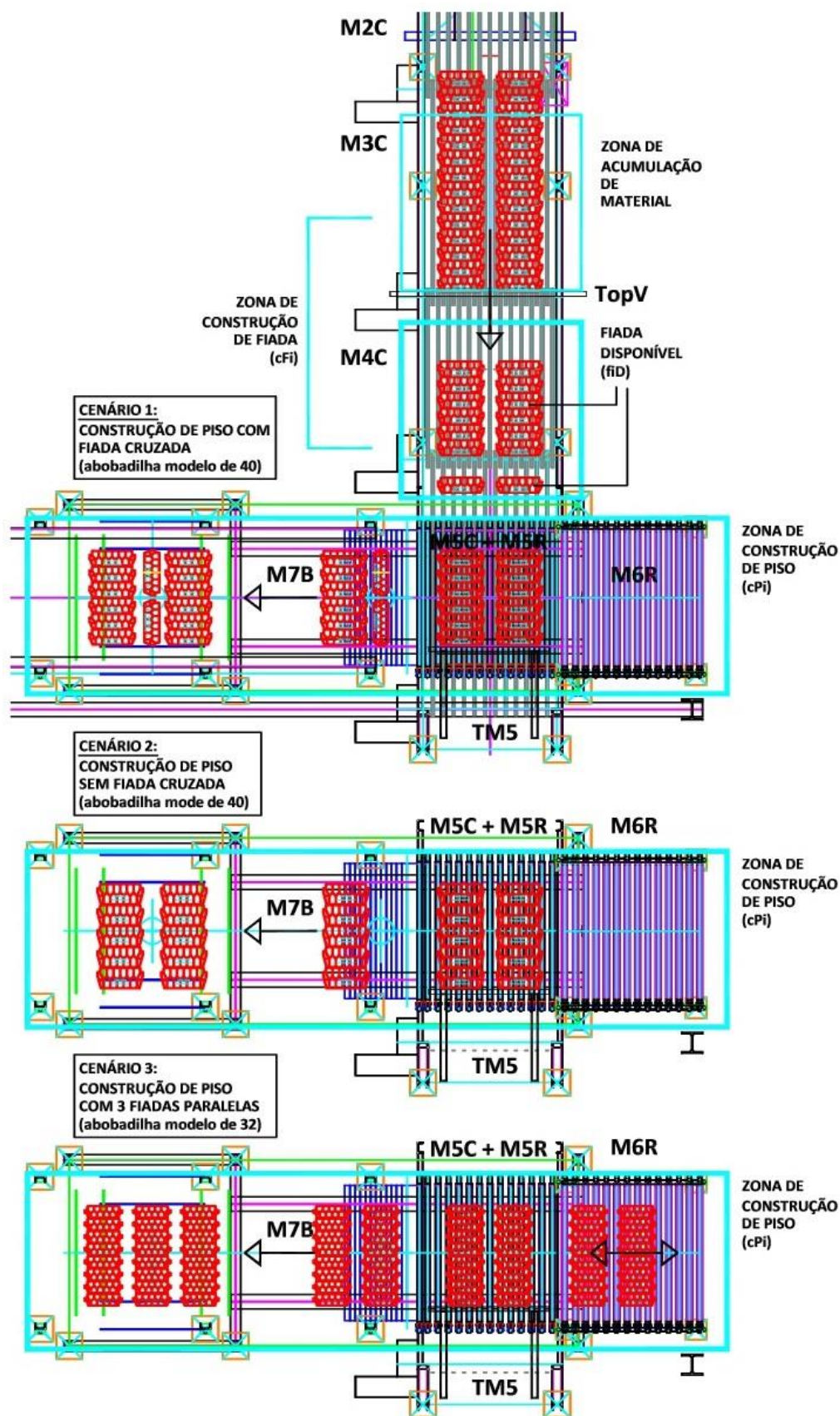


Figura 59: Zonas de construção de fiadas e pisos para os 3 tipos de pisos possíveis

A cada cenário está associada uma sequência de trabalho diferente para se conseguir a combinação de movimentos correta. Em cada zona, o sistema tem de ter conhecimento sobre o destino do piso em processamento, o que obriga à existência de um conjunto de variáveis internas (cFippc, cFippcD, cPippc, e1ppc, e2ppc, e3ppc, e4ppc e e5ppc) que definem o estado da linha de produção. Estas variáveis são explicadas em detalhe nos comentários ao programa no início da secção pFiadasPisos sobre a programação de fiadas e pisos (anexo 5.21) e servem para, juntamente com o programa de material introduzido, orientar o funcionamento do sistema ao longo de toda a linha de produção.

Cada piso fica completamente definido, em termos de quantidade e orientação de peças, na estação E1 da mesa de barras M7B (figura 60). Esta possui 5 estações, separadas por uma distância declarada em pcPAR_PassoM7B que é idêntica à distância fixa entre as duas pinças de paletização. Na estação 1 o piso é compactado e centrado em relação ao tapete de barras em ambas as direções, na largura e no sentido do movimento, operação determinante para garantir o avanço correto entre duas estações que é controlado pelo *encoder* 5 montado na mesa de barras. A estação 2 apenas constitui um espaço livre onde o operador realiza um controlo de qualidade e eventualmente substitui peças defeituosas. Na estação 3 o piso é cintado em função da condição e3_Cinta, associada às variáveis pg42_Cinta_p1pal a pg46_Cinta_p5pal definidas no programa de material. Quando os pisos chegam às estações 4 e 5 são recolhidos pelas pinças de paletização e depositados sobre as paletes para construir as paletes de produto acabado. A eventual rotação dos pisos nestas pinças, antes da sua colocação nas paletes de produto acabado, é definida no programa pelas *variáveis* pg22_Rot_p1Pal a pg26_Rot_p5Pal.

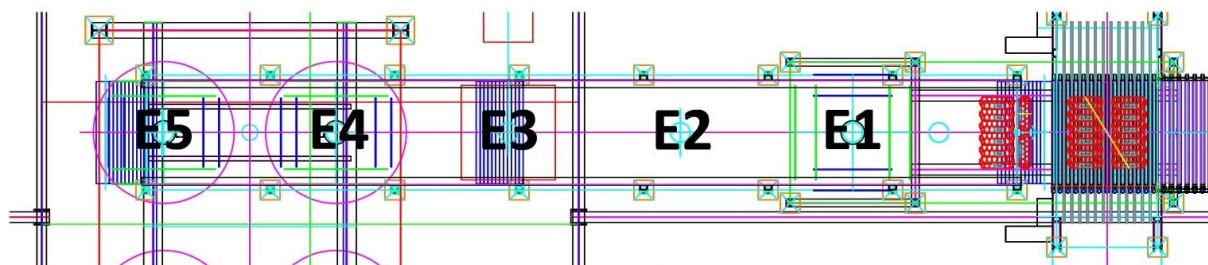


Figura 60: Estações de trabalho da mesa de barras M7B

Na fase seguinte (figura 61) os pisos são empilhados até formarem as paletes de produto acabado, que avançam para o final da linha para serem recolhidos pelo empilhador.

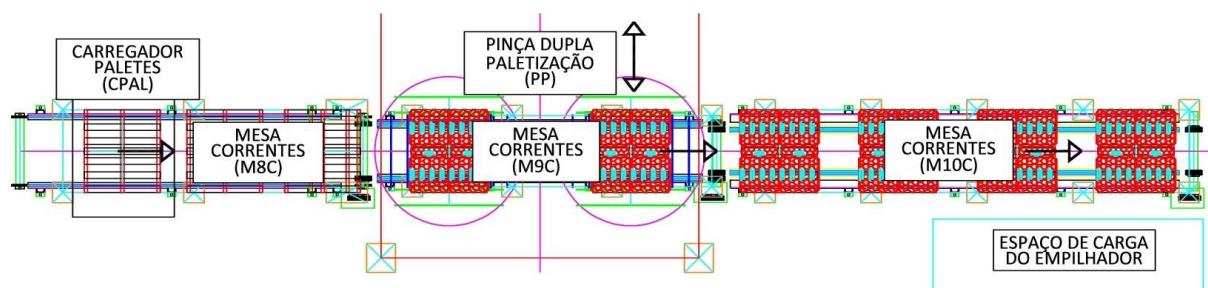


Figura 61: Linha final de paletização

A introdução do impulsor hidráulico 2 (anexos 1.21, 1.22 e 1.23) para posicionar as vagonas no eixo da desenforma de abobadilha obrigou à alteração da programação do impulsor hidráulico 1 da desenforma de tijolo. Com o eixo da nova desenforma a localizar-se na mesma

via 6 e depois da desenforma de tijolo (figura do anexo 1.22), ambos os impulsores têm de assumir sequências automáticas distintas consoante o sistema está configurado para o fabrico de tijolo ou abobadilha. Na secção TranspFvia6 (anexo 5.30) encontra-se a programação dos três equipamentos de movimentação e respetivas sequências de funcionamento para os dois cenários, linha de descarga de tijolo ativada e linha de abobadilha ativada. Quando o operador ativa a desenforma de abobadilha no botão de comando btATV_DABc, os impulsores assumem as sequências automáticas para alimentar e posicionar as vagonas com material cozido no eixo da descarga de abobadilha. Na posição inversa, com a desenforma de tijolo ativada, o impulsor 1 posiciona as vagonas no eixo de descarga de tijolo e o impulsor 2 faz a movimentação das vagonas vazias até as entregar ao guincho final GPV6, que as encaminha para o carro de transbordo do forno.

O centramento da vagona no eixo da desenforma é importante para assegurar a descida das pinças com a almofada central alinhada com o centro da estiva, o que é conseguido com as duas fotocélulas celPAVgCent_DABc e celPVGSEG_DABc, definindo um intervalo de segurança e garantindo o posicionamento correto da vagona. Adicionalmente, em todas as pinças existe um sistema de segurança constituído por um fim de curso que atua sobre as correntes de elevação e que envia continuamente um sinal para uma entrada do autómato. Se, eventualmente, as pinças entrarem em contacto com algum obstáculo no movimento de descida, a diminuição da tensão nas correntes de transmissão liberta o fim de curso e o sistema automaticamente bloqueia a operação e assinala uma anomalia.

Com a vagona posicionada no eixo da desenforma de abobadilha, começa a descarga do material cozido das vagonas do forno, secções PDA_PDDesenfAb1 e PDA_PDDesenfAb2 (anexo 5.15 e 5.16), pelas pinças da desenforma PDA. Efetuada por estivas, as pinças recolhem o material e colocam-no nas mesas de correntes M1C e M2C. A programação dos movimentos das pinças de desenforma é muito semelhante à da enforma, salvo as devidas diferenças que resultam da inversão do processo. As pinças sobem em vazio PDAsubE_at5 no eixo de descarga após a entrega do piso de material, ou em carga PDAsubR_at2 no eixo de recolha de peças. Inversamente, a descida automática PDAdescE_at4 apenas ocorre em carga no eixo de entrega em cima das mesas de correntes, e em vazio PDAdescR_at1 no eixo de recolha para apanhar as peças. No restante, as pinças são objeto de uma programação mais simples porque têm menos atuadores pneumáticos, não possuem pinças laterais, o suporte da fotocélula de deteção da altura do piso não tem movimento vertical e a almofada central é fixa, ao contrário das pinças da enforma.

Como o movimento vertical também é acionado por um motor de duas velocidades, o ponto de aproximação, ou altura em que a velocidade lenta é introduzida, é determinado pela posição do *encoder* em função dos parâmetros definidos na entrada de dados, variável pcDLentaPDA para a distância de aproximação e as variáveis pcH_p1vg a pcH_p10vg que possuem a altura dos vários pisos. O *reset* do *encoder* incremental é efetuado sempre que as pinças se deslocam à posição superior e o valor do mesmo representa a distância percorrida no movimento vertical no sentido descendente. Tal como na enforma, uma variável interna pvgC identifica o piso da estiva a levantar no movimento em curso, que é apresentada no HMI e permite ao operador garantir o sincronismo do estado do programa e eventualmente corrigir o respetivo piso sempre que necessário.

A translação é acionada por um variador de frequência que suaviza o deslocamento das pinças na aproximação aos dois eixos. Detetores indutivos controlam as duas únicas posições de paragem e respetivas desacelerações, e apenas duas sequências automáticas, PDAava_at6 para o avanço das pinças em vazio e PDAreca_at3 para o recuo em carga, executam os movimentos de translação.

Uma fotocélula *celMatM1M2c* de reflexão no espelho determina quando as mesas *MC1* e *MC2* estão vazias e autoriza a descida das pinças *PDA* com um novo piso recolhido da estiva da vagona. As duas mesas (figuras 37 e 38) têm como função alimentar a mesa de correntes *M3C*, a qual faz a construção das fiadas que vão constituir um piso da paleta. Quando a fotocélula *celMatAcF_M3c*, posicionada na mesa *M3C* está livre, significa que não há material suficiente para a construção de um novo piso da paleta e o material depositado em *M1C* e *M2C* avança para alimentar a mesa *M3C* através do movimento definido em *M1CM2C_at1* na secção *mesasFP_at1*.

A partir desta fase, a conjugação do trabalho das mesas de correntes (*M3C*, *M4C*, *M5C*), mesas de rolos (*M5R* e *M6R*), os três topes (vertical *TV*, horizontal *TH* e final *TM5*) e finalmente mesa de barras (*M7B*), constroem o piso da paleta em função das condições definidas no programa (secções *mesasFP_at1*, *mesasFP_at2*, *mesasFP_at3* e *pFiadasPisos*). A figura 59 ajuda a compreender o sistema de programação de pisos, o qual possui alguma complexidade e está preparado para os três tipos de pisos que podem ser fabricados. Nos modelos de abobadilha de 40 (figura 32-a e 32-b) o piso possui sempre duas fiadas normais e eventualmente fiadas cruzadas. Na abobadilha de 32 o piso possui sempre 3 fiadas normais (figura 32-c). Estes são os três formatos de pisos de paleta que foram estudados e melhor se adaptam às dimensões da paleta de madeira (1000x920 mm). Esta informação está presente no programa de material, que define completamente o piso em construção e permite ao sistema executar as sequências adequadas. As variáveis *pg07_NF_p1pal* a *pg11_NPF_p5pal* definem o número de fiadas normais que o piso da paleta possui (2 para os modelos de abobadilha de 40 e 3 para os modelos de 32), as variáveis *pg12_NPF_p1pal* a *pg16_NPF_p5pal* o número de peças da cada fiada, e as variáveis *pg17_NPFC_p1pal* a *pg21_NPFC_p5pal* definem o número de peças das fiadas cruzadas.

Com material suficiente para a construção de um piso na mesa *M3C*, fotocélula *celMatAcF_M3c* atuada antes do início da construção de fiada, o tope vertical *TV*, que define o plano zero do *encoder* da mesa *M4C*, levanta e o sistema permite o avanço do número de peças correto para a construção do piso. Esse número de peças depende da altura declarada da peça no programa de material *pg05_matA*, e do número de peças que constituem as fiadas normais *cFippc_NPF* do piso em curso (anexo 5.21).

Na zona de construção de fiada *cFi*, mesas *M3C* e *M4C*, o sistema faz o avanço e separação das peças necessárias para a construção de um piso. Se o piso possui fiadas cruzadas (cenário 1 da figura 59), então avançam dois conjuntos de peças separados pela distância definida no parâmetro *pcEspFiadas*, o primeiro respeitante às fiadas cruzadas e o segundo às fiadas normais. Esta separação é necessária para que seja possível o avanço independente das fiadas cruzadas na mesa de correntes *M5C* em direção ao tope final *TM5*, para serem levantadas pela pinça intercalar. O posicionamento do tope final para as fiadas cruzadas é obtido pela leitura da variável *cPippc_dTopFC*, a qual é atualizada para o piso em curso em função das variáveis *pg32_DtopFC_p1pal* a *pg36_DtopFC_p5pal* do programa de material. Assim que a pinça intercalar levanta as fiadas cruzadas para as colocar no início da mesa de barras *M7B*, o segundo conjunto de peças constituído pelas fiadas normais avança para a mesa *M5C*, libertando a mesa de correntes *M4C* para a construção de um novo conjunto de fiadas referentes ao piso seguinte.

A programação da pinça intercalar *PI* (secção *mesasFP_at2* do anexo 5.19) possui elevação, translação e rotação para permitir o cruzamento das fiadas cruzadas relativamente às fiadas normais. A sequência automática de trabalho é sempre a mesma, independentemente do modelo de peça em produção. A única diferença reside no número de peças em cada uma das duas fiadas cruzadas, que pode variar em função do seu tamanho e é definida na operação

anterior de construção de fiadas. A fotocélula cel2MATF1_M7Bc funciona como uma segurança para evitar que a pinça desça sobre a primeira fiada do piso posicionado no início de M7B, quando por qualquer motivo se verifica algum atraso nas peças.

Se o modelo em fabrico é uma peça de 40 e não possui fiadas cruzadas (cenário 2 da figura 59), a pinça intercalar é desativada e em cada movimento de construção de fiadas apenas avançam as duas fiadas normais com o número de peças definido em cFippc_NPF. Em ambas os cenários, com e sem fiadas cruzadas, as várias peças que constituem as fiadas normais encostam ao tope final TM5, antes de a mesa de rolos elevatória MR5 subir e as colocar na altura do plano da mesa de barras M7B.

Na abobadilha de 32 a situação é distinta, porque o piso da paleta possui 3 fiadas normais. A passagem das duas fiadas que chegam da zona de construção de fiadas para as 3 fiadas, implica uma sequência de trabalho diferente e que utiliza a mesa de rolos M6R para fazer o acerto. A mesa de rolos M6R, que movimenta as peças em ambos os sentidos, serve para acumular as fiadas e garantir que estejam sempre disponíveis as 3 fiadas necessárias para a construção do piso no momento de avanço da mesa de barras M7B. Três fotocélulas (celMatIn_M6c, celMat_M6c e celMATFIN_M6c) posicionadas na mesa M6R permitem ao sistema saber em cada momento quantas fiadas estão acumuladas na mesa e gerir o encaminhamento das fiadas que chegam da mesa de correntes M5C (secção MesasFP_at3).

Na construção de pisos com fiadas cruzadas, a condição atzAvaM5R, ativada após o posicionamento das fiadas cruzadas na mesa M7B, autoriza, juntamente com as outras condições do sistema (compactação, cintagem e espaço disponível na estação 5 da mesa de barras), o avanço das fiadas em espera na mesa de rolos M5R.

Para não colocar em causa a produção da linha, a mesa de barras M7B apenas deve realizar um movimento, sem qualquer paragem intermédia, correspondente ao passo de avanço entre estações. No limite, a produtividade da linha depende do tempo de construção de um piso da paleta, o qual é a soma do tempo de avanço da mesa M7B entre duas estações mais o tempo da operação de cintagem, a operação mais demorada que é executada sobre os pisos posicionados ao longo da mesa de barras. Nesse sentido, antes do arranque de M7B é necessário assegurar que a mesa de rolos M5R possui as fiadas necessárias em espera. Nos modelos de abobadilha de 40, cenários 1 e 2, isto obriga a que M5R possua duas fiadas em espera, a primeira para fechar o piso da paleta anterior e a segunda para constituir a primeira fiada do piso da paleta seguinte. Nos modelos de abobadilha de 32, cenário 3, o sistema tem de garantir as 3 fiadas em espera nas mesas de rolos M5R e M6R, avançando a primeira fiada para se juntar às duas em espera na mesa M7B, e as outras para constituir as primeiras duas fiadas do piso seguinte.

Em todos os modelos e com todas as condições que autorizam o avanço de piso em M7B preenchidas e reunidas na condição M7B_atzArranque (secção MesasFP_at2 do programa da desenfora no anexo 5.19), as fiadas arrancam da mesa de rolos M5R e quando a primeira fiada atinge a fotocélula cel1MATE_M7Bc, arranca também a mesa de barras acionada por um variador de frequência para proporcionar um movimento rápido e preciso entre as estações. Após a entrega da fiada da frente para concluir o piso anterior, a mesa M5R faz uma paragem intermédia e arranca novamente para entregar as fiadas em falta, quando o *encoder* da mesa de barras atinge o valor definido em cPippc_dAvaUFiM7, calculado a partir das variáveis pg37_dAvaUfiM7_p5pal a pg41_dAvaUfiM7_p5pal do programa de materiais.

Imediatamente após a paragem da mesa de barras, na estação 1 a pinça compactadora desce e centra o piso com o fecho das duas pinças e na estação 3, em função da variável e3_Cinta, a operação de cintagem é realizada. Simultaneamente, nas estações 4 e 5 a pinça de paletização

desce para recolher os 2 pisos e coloca-los na paleta a ser construída na mesa de correntes M9C (figura 55).

A máquina de cintar, equipamento adquirido a um fabricante de máquinas de embalagem, possui o seu próprio PLC para gerir o ciclo de cintagem. A sua integração no funcionamento da linha obrigou à comunicação de vários sinais binários entre o seu autómato e o PLC da linha de desenforma. A máquina recebe um sinal da linha a autorizar o início do ciclo de cintagem, o qual pode ser desativado pelo operador sempre que necessário no quadro consola. As variáveis pg42_Cinta_p1pal a pg46_Cinta_p5pal do programa de material passam o seu valor para a variável e3_Cinta que indica se a operação de cintagem deve ser realizada no piso posicionado na estação 3. Em sentido inverso, a máquina de cintar tem de comunicar ao PLC central da desenforma se a cabeça de cintagem está na posição superior de segurança PosSeg_MCTABc e se o ciclo de cintagem está concluído OpCintagem_OK para permitir o avanço da mesa de barras M7B.

A programação das pinças de paletização, nas secções PP_PPaletAb1 (*ladder*) e PP_PPaletizAb2 (texto estruturado) dos anexos 5.25 e 5.26, segue os mesmos princípios e metodologias da programação das pinças da enforma PEA e desenforma PDA. As diferenças resultam essencialmente do facto de possuírem rotação, acionada pneumáticamente, e de cada das pinças ter 4 palas para apertar o material em ambas as direcções, ao contrário das outras pinças. A rotação é controlada pelas variáveis e4ppc_Rot e e5ppc_Rot, atualizadas a partir das variáveis pg22_Rot_p1Pal a pg26_Rot_p5Pal do programa de material em função do piso em curso. Como são recolhidos 2 pisos em simultâneo em cada movimento, significa que os pisos são construídos e movimentam-se aos pares ao longo da linha. A variável PPppalC, atualizada em cada movimento das pinças, define os pisos da paleta onde vão ser colocados os 2 pisos transportados pelas pinças de paletização PP. A posição vertical de recolha na mesa de barras é fixa e definida por um detetor indutivo, enquanto que as posições no eixo de entrega são variáveis e dependem do número de pisos já colocado sobre a paleta de madeira. Um *encoder* define as rampas de desaceleração com base nos parâmetros definidos nas variáveis pcH_p1pal a pcH_p5pal, e a posição de paragem e abertura das pinças é definida por uma fotocélula de detecção direta no material tal como nas outras pinças.

A linha final de paletização (figura 61) constitui a última etapa da linha de desenforma. A sua programação está presente nas secções MPaletAb (anexo 5.27, respeitante aos acionamentos), MPaletAb_at1 (anexo 5.28, sequências automáticas em *ladder*) e MPaletAb_at2 (anexo 5.29, texto estruturado). Um carregador de paletes abastecido diretamente pelo empilhador e com capacidade para várias paletes de madeira alimenta o processo, colocando as paletes individualmente na mesa de correntes M8C. Um conjunto de células e um detetor indutivo controlam o movimento das paletes ao longo da mesa M8C, por forma a garantir a alimentação contínua de paletes de madeira para a zona de carga de paletes na mesa de correntes M9C. O contador de impulsos 2, constituído por um carreto (tabela 2) e um detetor indutivo dtIMP_M8Cc, configurados nos parâmetros pcPAR_pprCIMP2 e pcPAR_dpCIMP2, é determinante para garantir o correto espaçamento entre as paletes ao longo da mesa M8C.

Apenas duas paletes avançam da mesa M8C para a mesa M9C em cada movimento, as quais têm de ser corretamente posicionadas nos eixos de carga de paletes. O espaçamento entre as duas, que tem de ser idêntico ao das pinças de paletização, é conseguido com um contador de impulsos igual ao da mesa M8C (tabela 2). Após avançar a primeira paleta de madeira através das sequências M8C_at2 e M9C_at1, o avanço da segunda paleta, sequência M8C_at3, é determinado pelo pulso M8C_startP, activado pelo contador ao atingir a distância definida em pcDsepEPAL_M9C. A paragem das paletes no alinhamento das pinças de paletização é determinada pela condição M9C_stop que resulta do parâmetro pcDPa_M9C, ajustável na entrada

de dados. Duas fotocélulas confirmam a presença das paletes antes da descida das pinças de paletização para depositar o material.

Após a entrega dos últimos pisos das paletes, assim que as pinças de paletização chegam à sua posição superior, a condição `CPal_ultimoP` calculada em `PP_PPaletizAb2`, autoriza o arranque da mesa M9C pelo movimento `M9C_at2` para entregar as paletes concluídas à mesa M10C, onde ficam acumuladas e à espera de serem levantadas pelo empilhador para serem colocadas no parque de produto acabado.

4.8 Entrada de dados (HMI)

Na primeira linha de interação com os equipamentos estão os dispositivos montados nos quadros elétricos (anexos 2 e 3), botões de impulso, de retenção, de emergência e sinalizadores, que permitem ao operador de uma forma fácil e imediata interagir com todos os acionadores individualmente. Montados essencialmente nos quadros do tipo consola e distribuídos numa lógica que pretende refletir o mais possível o *layout* das linhas e dos vários equipamentos que a constituem, fazem parte do posto de trabalho e colocam o operador no centro de comando das operações associadas ao controlo do sistema, com capacidades para bloquear, colocar os acionadores em modo automático e controlar manualmente todas as fases do processo.

Nos *displays* HMIs, colocados ao centro dos quadros de consola, o operador consegue visualizar em tempo real o estado do sistema e todas as variáveis relevantes para o acompanhamento do processo, tais como o material em fabrico, número de peças do piso em construção ou o número de piso da vagona em curso. É na consola que o operador rapidamente corrige e altera as variáveis de processo, no caso de se verificar algum desfasamento entre o estado da linha e o PLC, em resultado de alguma anomalia ou da remoção de peças defeituosas da linha. Também é possível aceder aos alarmes do processo, verificar a sua origem e quais os acionadores e equipamentos envolvidos. A um nível mais elevado de responsabilidade, e caso o operador tenha um acesso definido e permitido pelo sistema, é possível no HMI alterar, eliminar ou criar novos programas de materiais para fabrico e eventualmente alterar os parâmetros e tempos, fundamentais para a configuração da linha.

O sistema foi desenhado para ser autónomo em termos operacionais, independentemente da comunicação com o sistema de supervisão. Com as máquinas configuradas, todas as variáveis (tempos e parâmetros) ficam armazenadas internamente no PLC, inclusive os programas com as variáveis que configuram a produção dos vários materiais, armazenadas em *arrays*. Desde que o PLC esteja em modo *run* (modo operacional de execução do programa) e totalmente operacional, apenas é necessário garantir a comunicação entre o PLC e o HMI para que seja possível colocar todos os sistemas em marcha.

Na figura 62 é possível visualizar imagens de algumas páginas de trabalho do HMI da enfora. Na enfora, devido à menor complexidade de variáveis associadas ao estado dos equipamentos, é possível apresentar na página inicial uma informação numérica, que basicamente informa o operador do respetivo estado do sistema e onde este pode efetuar correções em caso de necessidade.



Figura 62:HMI Linha da enforma

Na figura 63 é possível visualizar imagens de algumas páginas de trabalho do HMI da desenforma.



Figura 63: HMI Linha da enforna

Nesta linha a página inicial também ilustra o estado do sistema, mas a informação está disposta graficamente em função do *layout* da linha para facilitar a interpretação do operador.

As consolas utilizadas da Beijer utilizam o programa iX Developer, bastante simples e intuitivo e com boas capacidades gráficas. Possuem porta *ethernet*, um endereço IP, e estão preparadas para comunicar com uma série de protocolos entre os quais o Modbus TCP/IP, utilizados pelos autómatos da Modicon. São acessíveis a partir de qualquer ponto da rede *ethernet* da empresa, ou remotamente através do servidor *web* integrado nas consolas. Também permitem a comunicação em simultâneo com vários autómatos diferentes desde que estejam ligados à rede *ethernet*.

Importa referir que os programas dos PLCs tiveram de ser construídos a pensar na comunicação com os HMIs e com o programa de supervisão, ou seja, o PLC está preparado para receber e atualizar dados a partir do HMI ou do programa de supervisão.

4.9 Aplicação de supervisão e controlo automático da produção

Após a pesquisa realizada e depois de testar vários programas, a opção para desenvolver o sistema de supervisão recaiu sobre a aplicação da Cogent Datahub. O Cogente Datahub e o OAS (Open Automation Software) possuem um robusto módulo de comunicações ou servidor, onde é possível configurar as várias funções associadas ao sistema, como a declaração de variáveis, trending, datalogging, etc. O OAS disponibiliza um conjunto de bibliotecas para utilizar com o ambiente de programação Visual Studio da Microsoft e que proporcionam todas as funcionalidades de um SCADA normal. Exige mais tempo para o desenvolvimento de uma aplicação, mas possui a vantagem de ser mais flexível e de estar perfeitamente integrado com as linguagens de programação de alto nível mais comuns como são o caso do Visual Basic ou o C#. O MyScada, de origem alemã, é uma solução mais orientada para a *web* e possui características interessantes para a animação gráfica e para as plataformas móveis, contudo, não possui um módulo ou servidor de comunicações independente. Seria possível enumerar muitas outras soluções, cujo aparecimento no mercado reflete claramente a tendência de generalização deste tipo de programa e a separação entre o *hardware* e o *software*. No entanto, os três programas referidos cumprem os requisitos necessários para o desenvolvimento do trabalho e enquadram-se perfeitamente com a ideia de instalar uma solução simples, leve e com a abertura necessária para garantir a independência de qualquer fabricante de *hardware*.

O SCADA da Cogent, desenvolvido por uma empresa de *software* canadiana, sem qualquer ligação ao fabrico de *hardware*, é uma ferramenta que evoluiu a partir da área de *trading*, pela necessidade de partilha informação em tempo real sobre os mercados em locais distantes. Mais tarde, recentraram a sua área de negócio para a supervisão industrial, no sentido de aproveitar o Datahub, módulo que é executado como um serviço e que permite gerir toda a comunicação e partilha de variáveis entre aplicações remotas.

O Datahub é o elemento central do sistema e onde se realizam todas as configurações necessárias. Funciona como um servidor ou cliente OPC e pode facilmente ser integrado com outros sistemas. Possui um conjunto de funcionalidades que facilitam imenso as tarefas de configuração e programação, entre as quais se destacam a importação automática das variáveis a partir de qualquer OPC, o *tunnel/mirror* que cria uma imagem exata das variáveis em computadores distintos, mesmo através da internet, sem a necessidade de configurações adicionais da DCOM ou *firewalls*, um servidor *web* que disponibiliza as páginas da aplicação

para serem acedidas a partir de um *browser*, o registo dos valores *trending*¹⁷ e finalmente um módulo de *data logging*, onde é possível configurar instruções em SQL para serem executadas em intervalos de tempo definidos, ou em função de eventos associados à mudança de estado das variáveis, ou *datapoints* introduzidas no Datahub.

O ambiente gráfico para desenvolvimento da aplicação é o Datahub Webview, ferramenta que é executada num *browser* e que apenas necessita da instalação da tecnologia Silverlight¹⁸ da Microsoft. Todo o processo é gerido pelo servidor *web*, o qual disponibiliza as ferramentas de programação necessárias e é responsável pela gravação, no computador onde é executado o servidor, de todas as páginas *web* construídas e toda a informação associada ao desenvolvimento da aplicação.

O OPC está instalado juntamente com o Datahub e o servidor *web* no computador do forno, que está continuamente ligado ao processo. Todos os outros computadores da empresa conseguem aceder à aplicação através de um simples *browser*, desde que esteja instalado o *plugin* do Silverlight da Microsoft. A aplicação pode ser alterada remotamente a partir de qualquer computador, e automaticamente o sistema grava as alterações no servidor, ficando estas prontamente disponíveis em todos os outros computadores logo que a aplicação seja reiniciada. A gestão do sistema e das atualizações fica deste modo extremamente simplificada, não sendo necessário copiar nem reinstalar qualquer ficheiro sempre que se introduz uma alteração ao programa.

A supervisão das duas linhas está inserida na aplicação geral que controla todo o processo produtivo. A barra vertical do lado direito, presente em todas as páginas, funciona como barra de *menu* que permite aceder a todas as páginas do programa.

Na página de “início” do sistema apresentada na figura 64 é possível visualizar as produções da enfora e da desenfora. A informação é atualizada em tempo real e os gráficos de barras ajudam a perceber o estado da produção de uma forma rápida. Enquanto que as caixas de texto apresentam os valores das variáveis lidas diretamente do PLC, os gráficos são construídos usando a funcionalidade de Data Logging do Datahub, através da execução de consultas de SQL, realizadas em intervalos de tempos definidos sobre tabelas que são continuamente atualizadas a partir do PLC.

¹⁷ Funcionalidade de um SCADA que permite o registo de variáveis ao longo do tempo e sua apresentação gráfica.

¹⁸ Plugin da Microsoft para melhorar a performance gráfica das aplicações web.

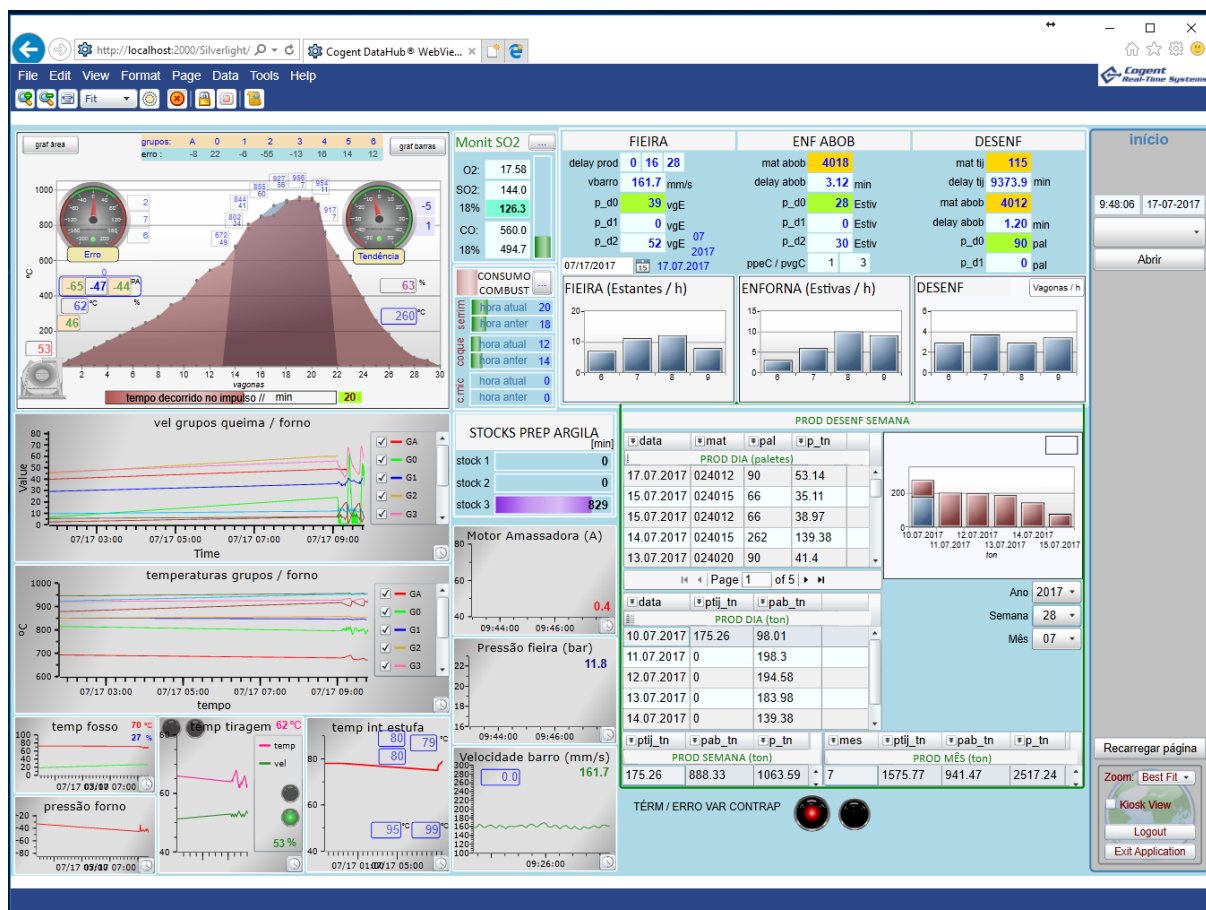


Figura 64: Página inicial da aplicação de supervisão

A desenforma, última etapa do processo produtivo, representa o ponto mais crítico no controlo da produção. Através do PLC da desenforma é possível o registo de toda a produção de produto acabado (tijolo e abobadilha) da unidade industrial, ao contrário da enforma, ponto intermédio de controlo, onde o registo se destina essencialmente a obter estatísticas de produtividade. O outro ponto de controlo importante é a fieira, também apresentado na figura, mas que fica de fora do âmbito desta apresentação.

Enquanto que na desenforma a unidade de contagem é a paleta, na enforma a unidade de contagem é a estiva. A gestão de materiais e conversão entre unidades é efetuada na página “materiais” (figura 65) do programa que atualiza a informação na tabela `dbo.mat` na base de dados. Desta forma, é possível converter e apresentar a informação associada a cada etapa do processo na unidade mais adequada. O operador apenas tem de declarar em cada momento, no HMI ou no computador, o material em fabrico na linha, e com o código de identificação do material, comum aos autómatos e à base de dados, o sistema regista a produção diária para cada material.

O registo da produção informatizado obriga a alguns cuidados para garantir a fiabilidade, a redundância e o *backup* de toda a informação. A fiabilidade do sistema de registo ao nível do PLC é garantida pelo facto da fotocélula responsável pela contagem das paletes também representar uma condição essencial para o normal funcionamento da linha de desenforma.

A redundância do sistema é assegurada por diferentes formas e pretende garantir os dados em caso de avaria do PLC ou do computador. No PLC, vários *arrays* de variáveis inteiras (`pMATd0` a `pMATd7` na secção `ContProd2` no anexo 5.32) guardam a produção dos vários materiais para o período de uma semana, o que também funciona como *backup* em caso de

avaria do computador. No computador, a produção para cada material é registrada em duas tabelas diferentes. A tabela `dbo.rp_DESENFpal` apenas registra o material e o instante *timestamp*¹⁹ em que a paleta foi produzida. O incremento da variável no PLC, introduzida como um datapoint no Datahub faz despoletar automaticamente uma instrução de SQL que cria um novo registo na tabela. Esta tabela possui um registo para cada paleta produzida, pode ser útil como *backup* em caso de falha do sistema, mas o seu propósito principal é o de registrar a produção horária (gráficos de barras superiores do lado direito da figura 64), e os tempos de produção entre paletes. A outra tabela `dbo.rp_DESENFdia`, cujos valores podem ser visualizados nas tabelas da figura 64, possui apenas um registo para a produção diária associado a cada material e que são transferidos do PLC para o computador, todos os 60 segundos por uma instrução SQL inserida no módulo de Data Logging do Datahub. Finalmente, todos os dias são efetuadas cópias de segurança à base de dados (svfscam) que contém toda a informação sobre a produção.

Figura 65: Página de gestão de materiais

Outra funcionalidade da aplicação de supervisão é o armazenamento da informação associada aos tempos, parâmetros e programas de materiais associados às linhas de produção. Os tempos e parâmetros não necessitam de receitas, isto é, apenas trabalham com um valor que tem de ser guardado em algum ponto fora do PLC, para que em caso de avaria ou perda de memória do PLC, seja possível voltar a reintroduzir os valores já estudados e configurados inicialmente para o correto funcionamento das linhas. Na figura 66 é possível ver dois exemplos de páginas simples, página de tempos e página de configuração dos *encoders* e contadores de impulsos da desenfora construídas para esse efeito. Nas caixas de texto com fundo a azul esbatido (coluna à direita) estão os valores do PLC e nas caixas de texto à

¹⁹ Instante de tempo em que o computador regista um evento.

esquerda estão os valores guardados no Datahub para as mesmas variáveis e que ficam gravados juntamente com a página. A alteração do valor de qualquer variável na caixa de texto da esquerda implica a sua transferência para o PLC.

Atraso na ativação da célula de paragem de vag desenf tijolo	100	100	ms
Tempo seg na contagem de paletes consecutivas tijolo	10	10	seg
Tempo seg na contagem de vagons consecutivas tijolo	60	60	seg
Tempo para fechar pinças PDA	3500	3500	ms
Tempo para encher almofada pinças PDA	3000	3000	ms
Tempo para esvaziar almofada pinças PDA	3000	3000	ms
Tempo mudança de estado das eletrovalvulas	1000	1000	ms
Tempo de enchim da almofada pinças PDA	3000	3000	ms
Tempo de esvaziamento da almofada pinças PDA	15000	15000	ms
Atraso na ativação da célula do tope da mesa M3C	1200	1200	ms
Atraso na ativação célula interm de mat acumulado em M3C	1350	1350	ms
Atraso na ativação da célula proximidade tope final mesa M5	1000	1000	ms
Tempo fechar pala grande pinças PP	1500	1500	ms
Tempo fechar pala pequena pinças PP	2000	2000	ms
Tempo abrir pinças PP	1000	1000	ms
Atraso na ativação da célula de entrada na mesa barras M7B	50	50	ms
Atraso na ativação da célula mat acum na mesa M3C	1800	1800	ms
Tempo para fechar pinça intercalar PI	2000	2000	ms
Tempo de abrir e fechar pinças compactadoras PC	2000	2000	ms
Atraso na ativação da célula final da mesa M8C	0	0	ms
Atraso na desativação da célula final damesa M8C	0	0	ms
Atraso na ativação da célula inicial da mesa M8C	1000	1000	ms
Atraso na desativação da célula inicial da mesa M8C	2000	2000	ms

a) Página de tempos da desenforma

Resolução encoder 1 (elevação de pinças tijolo)	0	0	pts
Diâmetro elemento final encoder 1 (elevação pinças tijolo)	0.00	0.00	mm
Resolução encoder 2 (translação pinças tijolo)	0	0	pts
Diâmetro elemento final encoder 2 (translação pinças tijolo)	0.00	0.00	mm
Resolução encoder 3 (elevação pinças PDA abob)	500	500	pts
Diâm. elemento final encoder 3 (elev. pinças PDA abob)	122.17	122.17	mm
Resolução encoder 4 (mesa correntes M4C abob)	500	500	pts
Diâm. elemento final encoder 4 (mesa correntes M4C abob)	145.95	145.95	mm
Resolução encoder 5 (mesa barras M7B abob)	500	500	pts
Diâm. elemento final encoder 5 (mesa barras M7B abob)	186.54	186.54	mm
Resolução encoder 6 (elev. pinças palet. PP abob)	500	500	pts
Diâm. elemento final encoder 6 (elev. pinças palet PP abob)	122.17	122.17	mm
Resolução contador impulsos 1 (tope mesa TM5)	22	22	pts
Diâm. elemento final contador impulsos 1 (tope mesa TM5)	76.41	76.41	mm
Resolução contador impulsos 2 (mesa correntes M8C)	26	26	pts
Diâm. elem. final contador impulsos 2 (mesa correntes M8C)	186.54	186.54	mm
Resolução contador impulsos 3 (mesa correntes M9C)	26	26	pts
Diâm. elem. final contador impulsos 3 (mesa correntes M9C)	186.54	186.54	mm

b) Página de configuração de encoders e contadores de impulsos da desenforma

Figura 66: Páginas de entrada de dados simples

A gestão de programas de materiais (figura 66-a para a enfora e 66-b para a desenfora) é um pouco mais complexa, porque implica a criação de receitas, ou seja, cada material possui um conjunto de variáveis que configuram o equipamento para o respetivo fabrico e que têm de ser transferidas em simultâneo para o PLC. Neste caso é necessário o armazenamento dos valores das variáveis na base de dados, tabela `dbo.progEAB` para os materiais da enfora e `dbo.progDAB` para a desenfora, para cada material. A gestão dos programas é realizada nas respetivas páginas onde cada programa de material ou receita pode ser criada, alterada ou eliminada. A programação necessária no sentido de manipular a base de dados foi feita com base em instruções de SQL inseridas no Datahub juntamente com alguma programação na linguagem de script utilizada pelo WebView Cogent Datahub (S#)²⁰.

Para garantir a autonomia do sistema, independentemente da supervisão, e facilitar a edição e alteração dos programas de materiais junto à linha de produção, através do HMI é possível aceder diretamente aos programas, que também são guardados em *arrays* (`progENFAB[20x30]` na enfora e `progDAB[20x50]`) de variáveis inteiras na memória do PLC. Para a sincronização entre os programas no PLC e na base de dados foram criadas as funcionalidades associadas aos botões de comando com letra a azul na figura 68, que possibilitam a transferência dos valores para cada material em ambos os sentidos. Tal solução também permite a reposição das várias receitas para os diferentes materiais no PLC de uma forma expedita e rápida, em caso de perda de memória do autómato. As secções `g_progEAB1` e `g_progEAB2` (anexos 4.9 e 4.10) e `g_progDAB1` e `g_progDAB2` (anexos 5.11 e 5.12) incluem a programação efetuada nos PLCs e que estão associadas a todas as transferências de valores que podem ser observadas graficamente na figura 67.

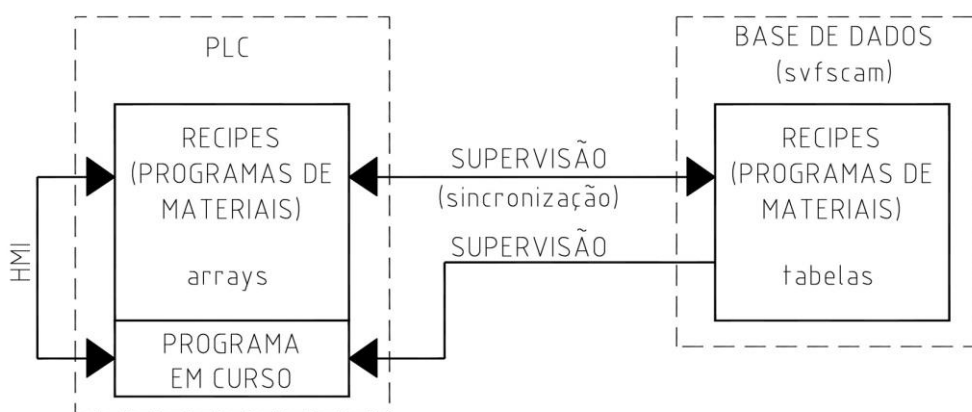


Figura 67: Transferências de programas de materiais (receitas) entre o PLC e base de dados

²⁰ Linguagem de script open source para aplicações Microsoft.NET.

Obs: Abobadilha 4009

	PC	PLC
01 idmat	12	15
02 mat	4009	4018
03 largura	460	440
04 comprimento	250	250
05 altura	90	180

Piso entrada	Espacamento inicial	Nº de peças	Trav direita [0/1]
06 1	0	0	1
07 2	0	0	0
08 3	0	0	1
09 4	0	0	0
10 5	0	0	1
11 6	0	0	0

24 Distancia entre eixo inicial da mesa M3C ao eixo do piso de entrada	3320	3320
25 Largura do piso	3460	3430
26 Nº de pisos na vagona	6	6
27 Nº de pisos de entrada por estiva	4	4

Nota: Para aumentar (LP) sem alterar (LP/2-DE), aumentar (DE) em 1/2 de (LP)

LP - Largura total do piso (mm);
Ec - Espaçamento central (mm);
DE - Distância entre eixo de trás de M3C e eixo do piso (mm);
NP - Número de peças do piso;

mat selecionado 17
trocaProg 0
idmatS 15
altProg 0

programas enforma abobadilha
12:03:33 17-07-2017
Abrir
Enforma

Recarregar página
Zoom: Best Fit
Kiosk View
Logout
Exit Application

a) Página de programas da enforma de abobadilha

Obs: Abobadilha 4012 - 20160911

	PC	PLC
01 idmat	13	16
02 mat	4012	4020
03 largura	440	440
04 comprimento	250	250
05 altura	123	207
06 nº pisos pal	4	4

Pisos	Nº fiadas	Nº peças fiada normal - NPF	Nº peças fiada cruzada - NPFC	Rotação
07 1	2	2	0	1
08 2	2	2	0	1
09 3	2	2	0	1
10 4	2	2	0	1
11 5	0	0	0	0

Pisos	Posição tope fiada normal	Posição tope fiada cruzada	Dist arranque em M7 fiada normal	Cintagem
27 1	60	0	1210	1340
28 2	60	0	1210	1340
29 3	60	0	1210	1340
30 4	60	0	1210	1340
31 5	0	0	0	0

0
16
0

programas desenforma abobadilha
12:24:20 19-07-2017
Abrir
Desenforma

Recarregar página
Zoom: Best Fit
Kiosk View
Logout
Exit Application

b) Página de programas da desenforma de abobadilha

Figura 68: Páginas de entrada de dados com ligação às tabelas na base de dados SQL

Através do *menu* do lado direito da página principal (figura 64) é possível aceder às páginas associadas aos vários setores de produção, inclusive às páginas das linhas da enfora e desenfora. Na figura 69 apresenta-se a página associada à linha da enfora, que permite realizar o acompanhamento em tempo real da evolução do processo e da respetiva produção. Com o *layout* em pano de fundo é possível visualizar uma animação do movimento das peças no espaço fabril, a qual foi programada em função das condições que refletem o estado do sistema e extraídas dos *datapoints* do Datahub. Também é a partir desta página que é possível aceder a todas as funcionalidades e configurações associadas à linha da enfora, através dos botões de comando contextualizados e situados no lado direito da página.

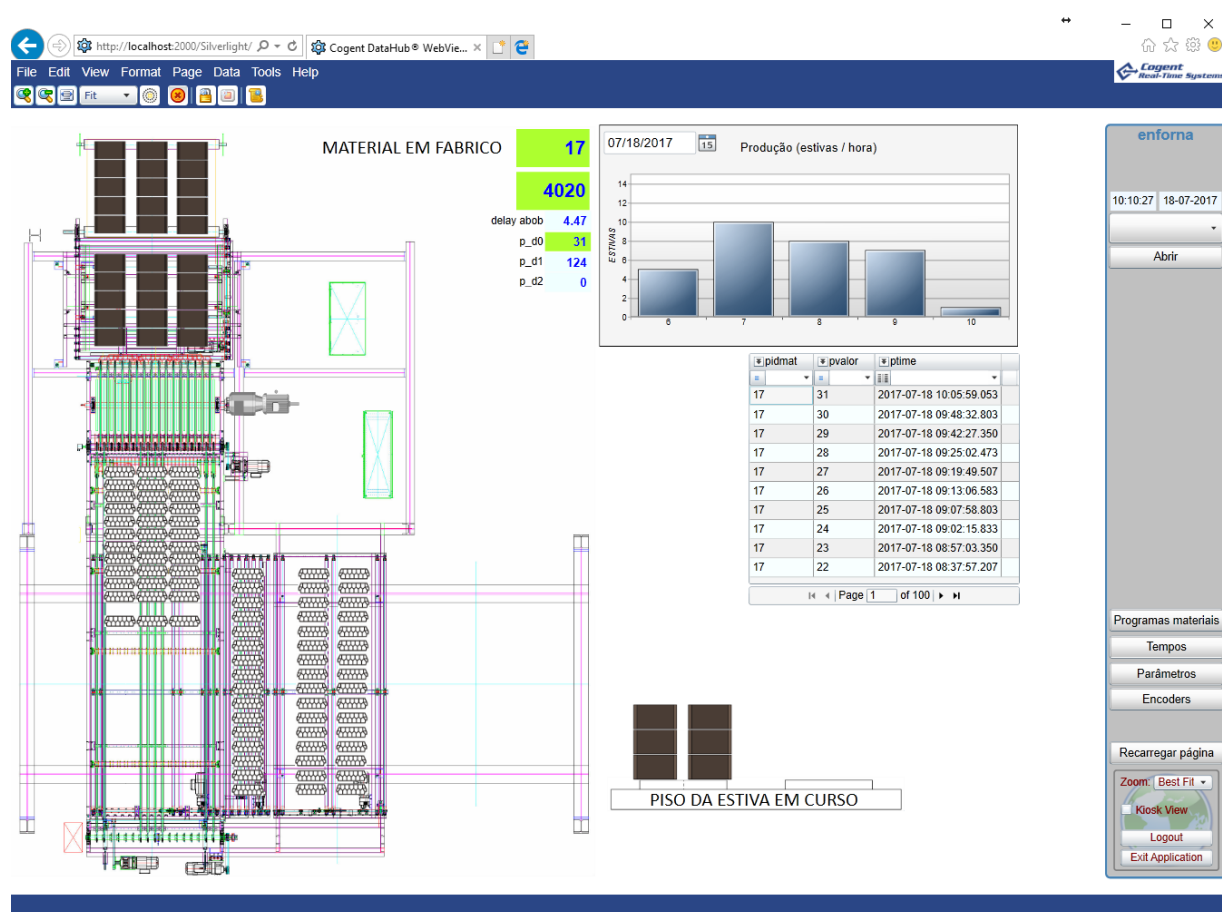


Figura 69: Página da linha da enfora (layout animado)

Na figura 70 pode-se visualizar a página associada à linha da desenfora. Com o respetivo *layout* em pano de fundo também é possível ver a animação do movimento das peças. No momento reflete apenas o posicionamento das peças ao longo das linhas de produção e a quantidade de pisos nas vagonas e nas paletes finais, mas futuramente é possível melhorar a animação através da visualização das peças e das pinças em movimento. Contudo, ficou claro que o programa possui algumas limitações a este nível, quer por algumas limitações da linguagem de script utilizada, que pareceu pouco vocacionada para este tipo de programação gráfica, mas também pelas capacidades do servidor *web*, que evidenciou algum atraso e arrastamento nos refrescamentos das páginas com demasiado código executar a animação.

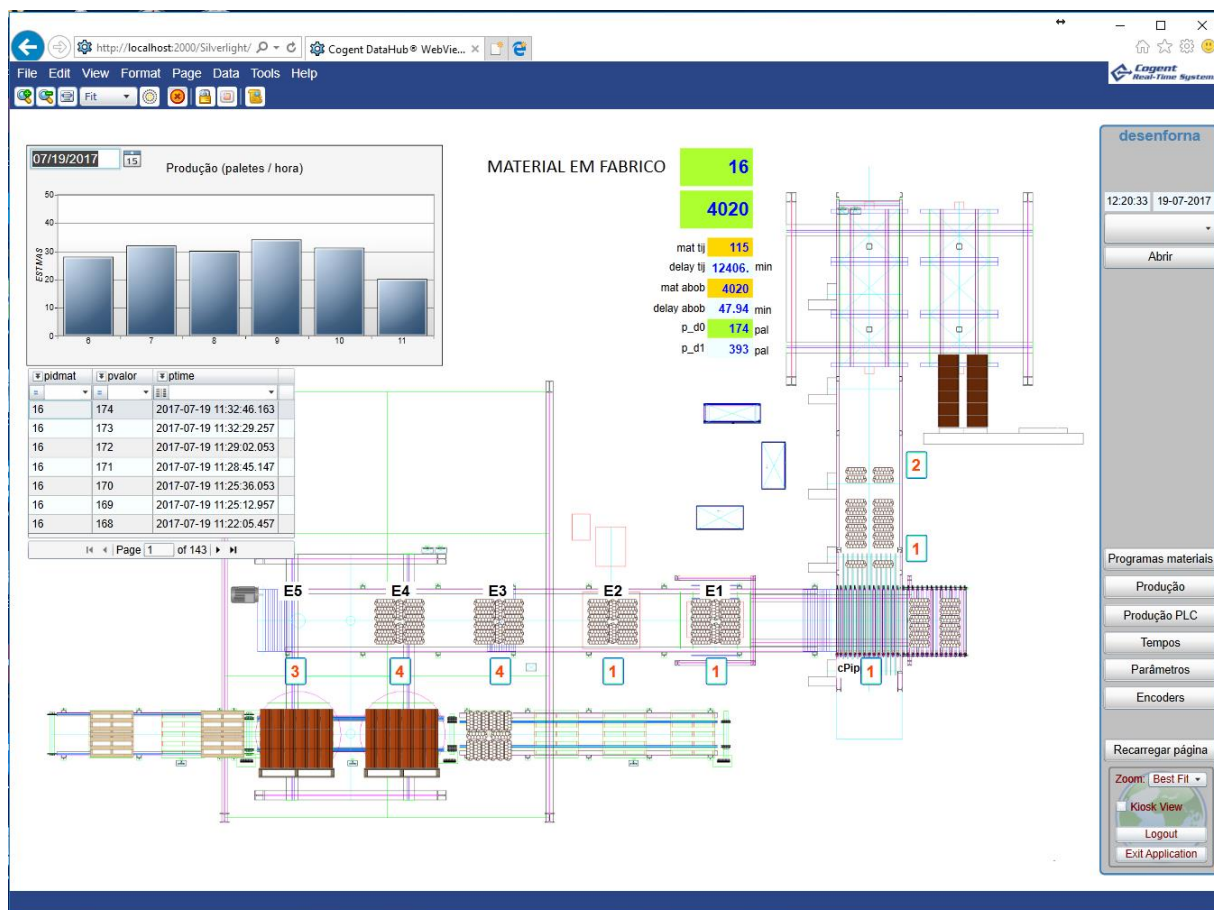


Figura 70: Página da linha da desenforma (layout animado)

Por fim, na figura 71 apresenta-se a página de produção da desenforma, cujo acesso é realizado pela página da linha da desenforma, e que apresenta a produção global da empresa em função das datas selecionadas, para os diferentes materiais. A informação é constantemente atualizada pelo programa de supervisão e os dados, agrupados por famílias de produção (tijolo e abobadilha), são recolhidos da base de dados em SQL. Os gráficos de barras apresentam a produção anual e mensal convertida em toneladas, onde o azul representa a produção de tijolo, o vermelho a produção de abobadilha e o verde a produção total.

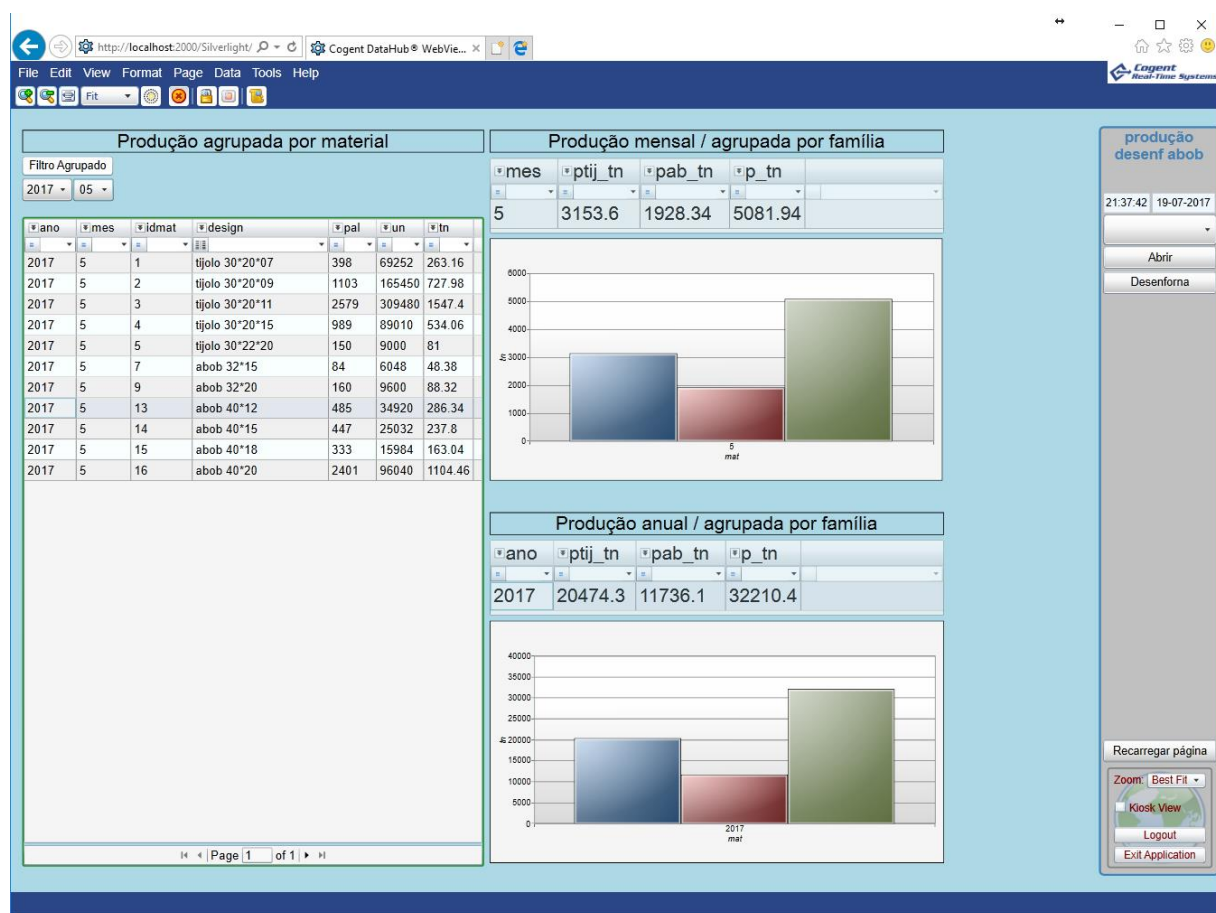
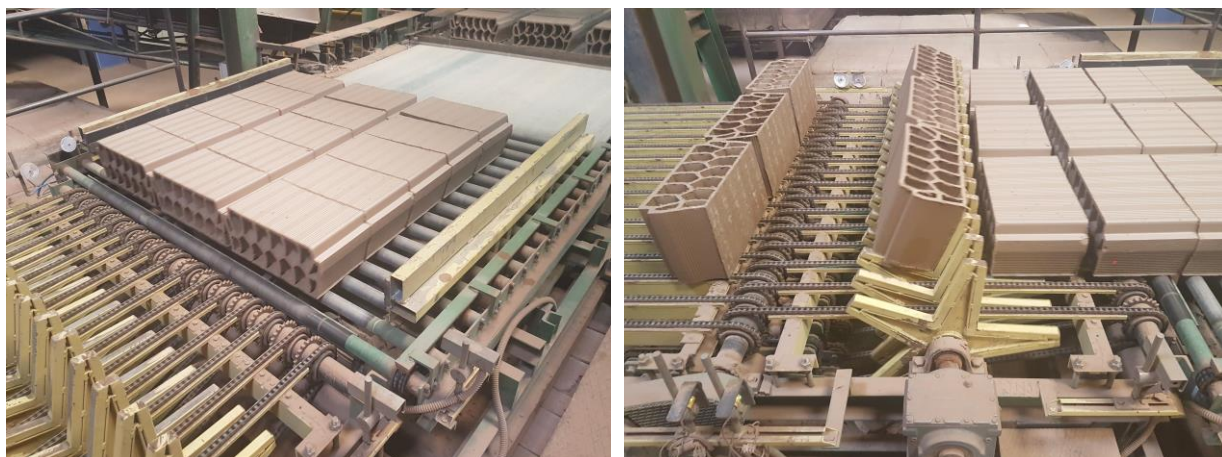


Figura 71: Página de produção da desenfora

4.10 Implementação e arranque das linhas de abobadilha

Os trabalhos relacionados com o arranque das duas linhas, após a montagem mecânica, instalação dos quadros elétricos e eletrificação de ambos os sistemas, demoraram aproximadamente dois meses, divididos entre os dois sistemas. O objetivo foi ensaiar e arrancar os novos equipamentos sem colocar em causa, ou pelo menos perturbar o menos possível, a laboração normal da empresa que continuou com as linhas de produção de tijolo.

Os lotes pilotos serviram para testar os equipamentos da linha da enfora (figura 72), afinar as sequências automáticas de trabalho e introduzir as correções necessárias ao programa do autómato. Também foram essenciais para afinar o travamento das estivas, verificar a respetiva estabilidade no sistema de movimentação de vagons do forno e iniciar os testes de cozedura do material com a nova enfora.



a) Mesa M3C

b) Mesa 2C e Virador



c) Vista panorâmica

Figura 72: Imagens da Linha da enforma de abobadilha

Posteriormente, com as mesmas vagonas, mas já com o material cozido, foi possível ensaiar a linha da desenforma (figura 73) seguindo um processo semelhante. Estes primeiros ensaios serviram também para extrair conclusões e definir alguns pontos sobre os quais ainda persistiam algumas dúvidas, nomeadamente na operação de rotação de peças na enforma e na construção de pisos da desenforma. Nesta fase, foi ainda possível definir os tempos e os vários parâmetros que garantem o correto funcionamento das linhas, valores que depois de ajustados supostamente permanecerão constantes.

A etapa seguinte consistiu no fabrico de lotes piloto para os diferentes modelos de abobadilha, construir os programas de materiais (receitas) e perceber as limitações impostas pelos modelos que à partida apresentariam mais dificuldades.

Com os sistemas preparados e prontos para fabricar todos os modelos de abobadilha, seguiu-se um processo de adaptação e melhoramento que se prolongou por cerca de 6 meses, o tempo necessário para os operadores se habituarem aos equipamentos e aos novos métodos de trabalho. Foi neste período, já com as linhas em produção e sem a pressão inicial, que foi possível estudar em mais pormenor as linhas e implementar gradualmente um conjunto de alterações que conduziram à otimização do seu funcionamento.

O desenvolvimento interno do projeto permitiu uma proximidade elevada entre a tecnologia cerâmica e as tecnologias associadas ao desenvolvimento do projeto, com reflexos bastante positivos na otimização dos processos. Trata-se de uma vantagem importante porque agiliza a introdução de alterações propostas pelos operadores e técnicos da cerâmica e transforma a otimização de processos em algo contínuo e dinâmico.

Ao longo destes meses também foi possível constatar alguns dos limites, que eventualmente podem ser melhorados em termos futuros. O alcance dessas alterações pode ser potenciado e complementado com alterações a introduzir em outros setores da empresa, como a preparação final de barro, extrusão e carga das estantes do secador. A estratégia a seguir vai depender muito da resposta do mercado e da evolução das vendas de abobadilha médio prazo.



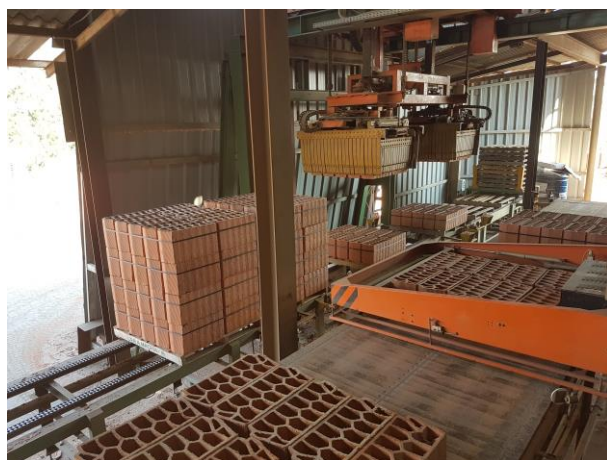
a) Pinça de Desenforna (PDA)



b) Pinça Intercalar (PI)



a) Quadros de consola e posto de trabalho



a) Perspetiva da Mesa de Barras e Pinças de Paletização

Figura 73: Imagens da Linha da desenforna de abobadilha

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

A enfora ao alto das peças (figura 25), ao contrário da situação inicial onde a enfora das peças ao baixo (figura 23) era efetuada pelas máquinas de enfora de tijolo, permitiu melhorar o controlo da queima do forno e consequentemente a qualidade da cozedura do material, aumentar a produção do forno devido ao maior número de peças enforadas em cada vagona e diminuir ao peso das peças devido à maior resistência mecânica. Todos estes fatores contribuíram para um significativo ganho de produtividade. As quebras baixaram para menos de metade e estão estabilizadas nos 3%²¹, como comprovam os números apresentados sobre o 1º semestre de 2017 quando comparados com o 1º semestre de 2016, cujas quebras atingiram os 9,6%.

Tabela 6: Valores de produção de abobadilha em toneladas de material cozido

	1º semestre 2016	2º semestre de 2016	Total de 2016	1º semestre de 2017
Fieira	6725,5	9567,2	16292,7	10409,1
Desenfora	6078,9	7801,8	13880,7	10280,4

Ao nível da capacidade, a produção de abobadilha já ultrapassou os objetivos definidos de 200 toneladas/dia e 1000 toneladas/semana.

Atendendo à tabela 6, é possível observar um aumento na produção de abobadilha entre o primeiro e segundo semestre de 2016, justificado pela entrada em funcionamento das novas linhas de produção de abobadilha em setembro de 2016. A comparação dos valores entre os primeiros semestres de 2016 e 2017, permite uma análise comparativa entre a produção de abobadilha segundo o sistema antigo e o sistema novo. A produção de abobadilha na desenfora no primeiro semestre de 2017 atingiu as 10280,4 toneladas, em oposição às 6078,9 toneladas verificadas no primeiro semestre de 2016. Isto configura um aumento na produção de abobadilha na ordem dos 69% e demonstra bem como os novos sistemas permitiram libertar a produção de abobadilha, até então limitada às 280 toneladas/semana (ponto 3.5). As perspetivas apontam para que em 2017 a produção de abobadilha fique perto das 19.000 toneladas, representando aproximadamente 40% da produção total.

Ao nível da produtividade, a linha da enfora possui uma maior capacidade, que resulta essencialmente do *layout* estudado e que permitiu beneficiar a operação de rotação das peças, ao girar a largura inteira das peças do piso da estante em simultâneo. Pontualmente, e em determinados modelos já foi possível atingir as 6 vagonas/hora, mas as 5 vagonas/hora são a produção de referência e que preenchem claramente o objetivo definido. A linha da desenfora apenas conseguiu atingir as 4,3 vagonas/hora, valor enquadrado nos objetivos definidos inicialmente que permitem atingir as 200 toneladas/dia, mas inferiores à produção da enfora. A razão que está na base desta discrepância, além do bom desempenho da enfora, prende-se com a opção em utilizar a mesma paleta de madeira (1000x920 mm) no tijolo e na abobadilha. Sendo a paleta um artigo de vasilhame, que circula entre a empresa e os clientes, a utilização de apenas um tipo de paleta simplifica a sua gestão e vai ao encontro da preferência dos clientes. A produção da desenfora é suficiente nesta fase, mas pode ser necessário futuramente alterar a paleta de abobadilha para um modelo maior, que permita a construção de pisos com mais peças. As máquinas estão preparadas para isso e estima-se que o ganho de produtividade na desenfora seja superior a 20%.

²¹ Apesar das quebras calculadas a partir dos valores da tabela apontarem para 1,2%, na realidade é necessário somar a produção na fieira, 205,2 toneladas, fabricadas ainda em finais de 2016 e que apenas foram desenforadas em 2017.

A aplicação de supervisão desenvolvida consegue responder às necessidades do sistema, possibilitando o acompanhamento dos processos em tempo real, armazenar e transferir para os PLCs toda a informação relevante sobre a configuração das linhas de produção e fazer a gestão dos programas de materiais. O suporte de dados assente numa base de dados SQL garante a integração com os restantes processos de gestão da empresa. Todo o sistema, PLCs supervisão e bases de dados, trabalham em conjunto para garantirem um controlo da produção totalmente automático e fiável, onde a única intervenção dos operadores reside na declaração do modelo em fabrico no *display* HMI. Com o servidor *web* associado ao programa de supervisão, é possível em qualquer ponto da fábrica, ou qualquer outro local com internet, aceder e visualizar todas as funcionalidades do sistema.

Nas figuras 74 e 75 é possível visualizar a evolução das vendas da firma, respetivamente em toneladas de material cozido e valores monetários, entre os anos de 2009 e 2017. As vendas totais, que seguiam uma trajetória claramente descendente até 2013, apenas sofreram uma inflexão com o crescimento das vendas de abobadilha.

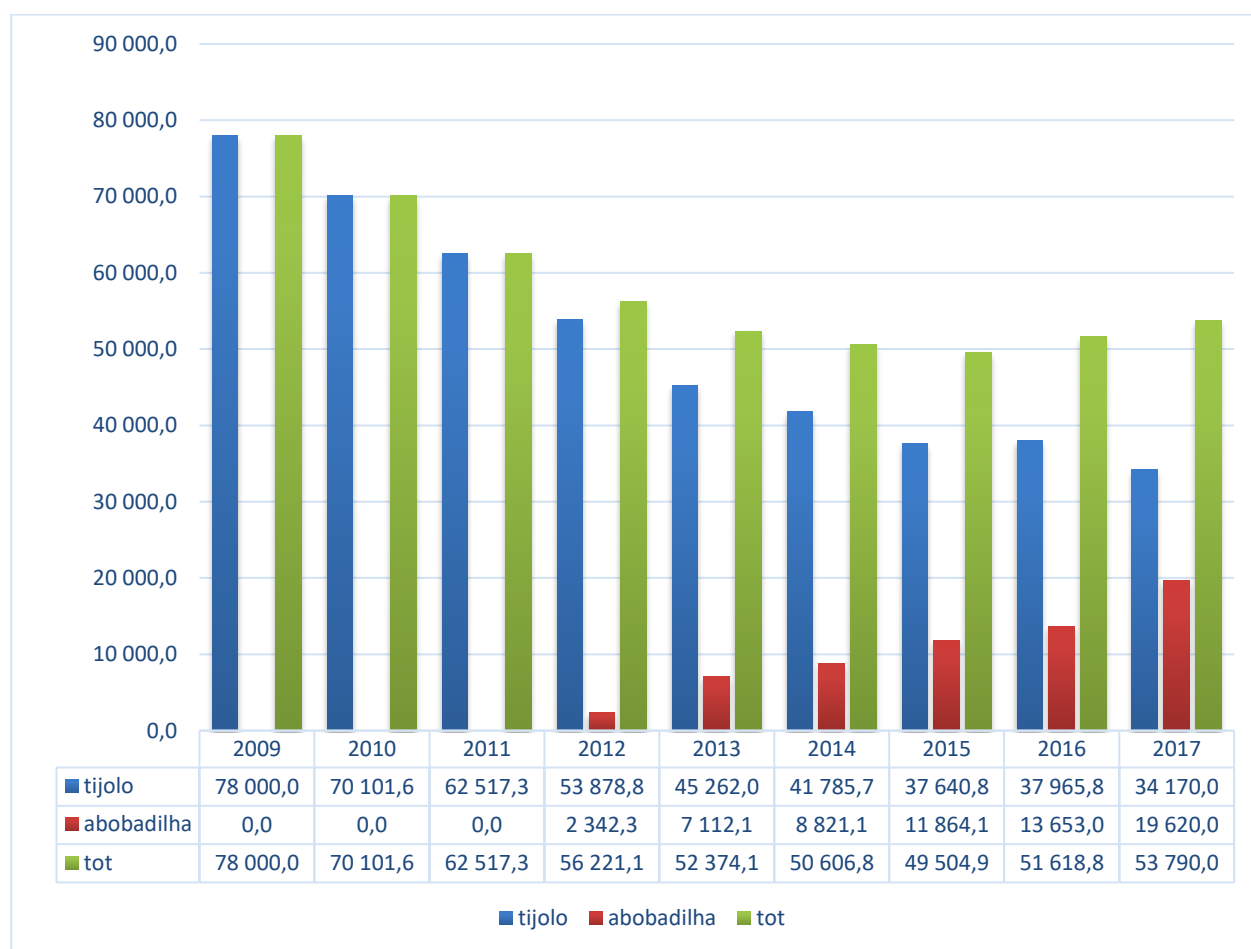


Figura 74: Gráfico 1 (Vendas em toneladas de material)

Esta inversão ainda é mais acentuada no gráfico da figura 75, onde se apresentam as vendas em valores monetários. Tal deve-se ao facto da abobadilha ser mais valorizada no mercado, o que permite um preço de venda por tonelada de material superior.

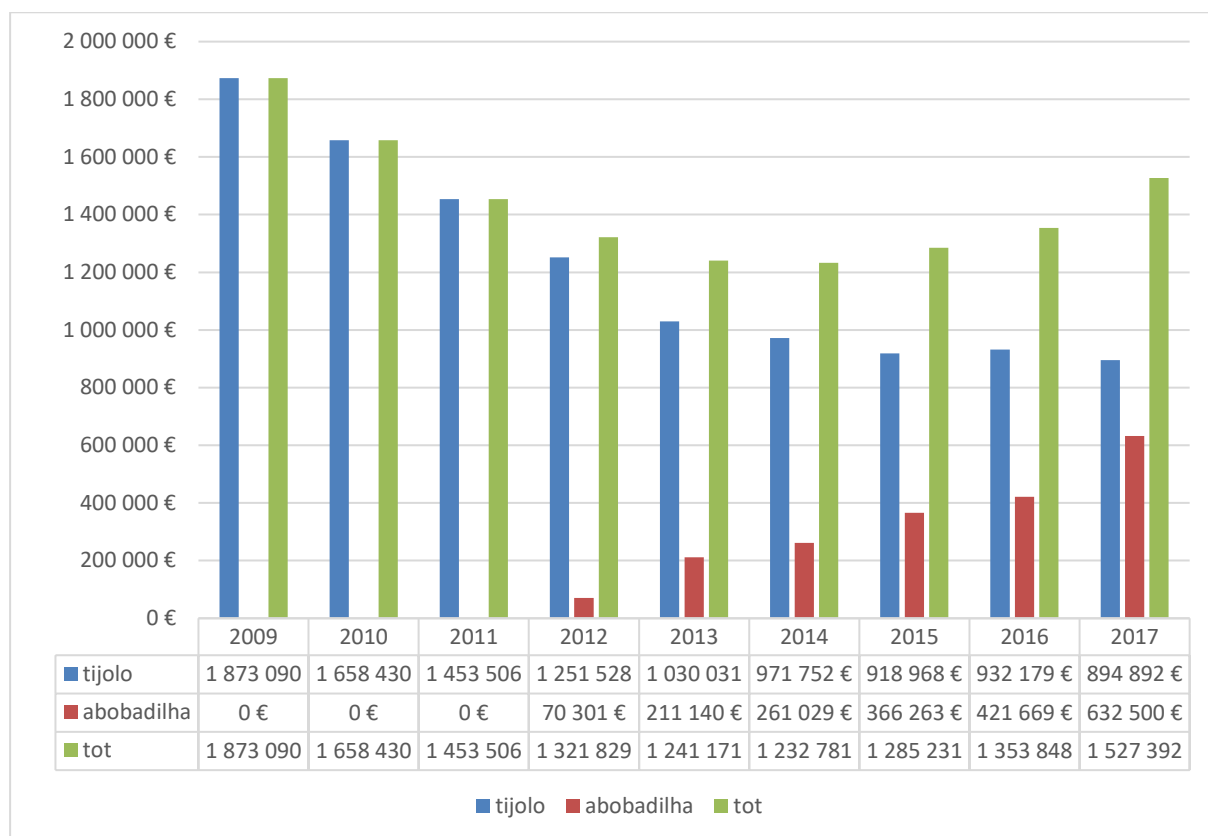


Figura 75: Gráfico 2 (Vendas em euros)

O gráfico apresentado na figura 76 permite observar a evolução do preço de venda médio ao longo dos vários anos, onde é claramente visível o crescimento verificado 2017. A política comercial da firma beneficiou bastante com a diversificação da produção e a consequente oferta de um produto alternativo. A transferência parcial da capacidade de produção para a abobadilha resultou numa menor pressão sobre as vendas de tijolo, permitindo aumentar também o respetivo preço de venda. Os benefícios acabam por se traduzir nas vendas de ambos os produtos, conduzindo a um equilíbrio financeiro da empresa após vários anos de grande dificuldade.

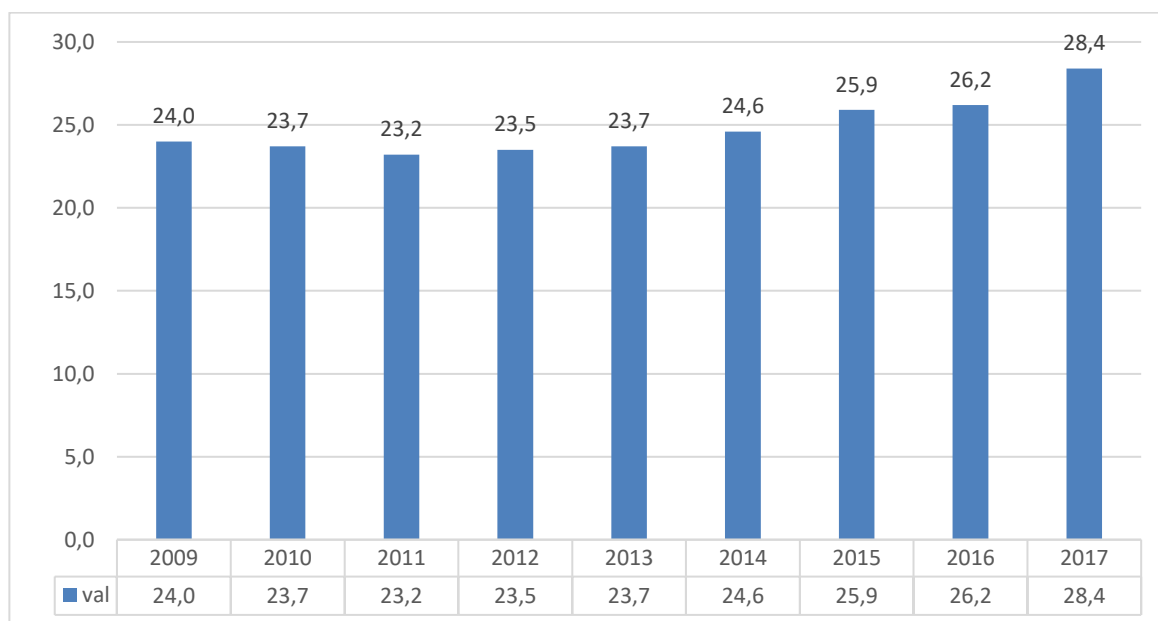


Figura 76: Gráfico 3 (Preço de venda médio em euros por tonelada)

As alterações no funcionamento da empresa resultantes do investimento efetuado estão alinhadas com a estratégia da firma, e que passa essencialmente por conseguir um equilíbrio financeiro para um nível de atividade inferior. Consciente da escassez de matérias primas na região, a orientação da produção para produtos mais valorizados é determinante para melhorar as margens financeiras e permitir futuramente a utilização de alguma matéria prima oriunda de locais mais distantes para misturar com as argilas locais.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Após 6 meses de trabalho com as novas linhas de enfora e desenfora, as melhorias na produção de abobadilha são evidentes e reforçaram fortemente a capacidade de resposta da empresa à crescente procura deste produto no mercado.

Depois de ultrapassado o período de adaptação, os novos equipamentos estão perfeitamente integrados no ambiente de trabalho, os operadores já assimilaram os novos processos e a produção de abobadilha acontece de uma forma natural e sem a necessidade da intervenção de qualquer técnico.

Tecnicamente, as alterações introduzidas ao nível de processos resultaram numa alteração profunda no sistema de fabrico de abobadilha. As consequências estenderam-se à gestão da produção, muito facilitada pela possibilidade de produção de lotes maiores de abobadilha, ao contrário da situação inicial. A gestão entre a produção de tijolo e a produção de abobadilha passa a ser determinada, mais pela procura do mercado e menos pelos constrangimentos internos relacionados com o processo. A flexibilidade do processo produtivo coloca a cerâmica numa posição favorável em relação à concorrência, essencialmente constituída por unidades mono produto.

As melhorias conseguidas na qualidade do produto também ajudam ao crescimento das vendas, com o mercado a responder de forma muito positiva como pode ser comprovado pelo aumento das vendas de abobadilha, que cresceram mais de 50% no 1º semestre de 2017 em relação ao 1º semestre de 2016.

Após alguns anos de grande dificuldade, onde o encerramento da empresa chegou a ser ponderado como uma alternativa possível, o trabalho apresentado nesta dissertação permitiu equilibrar a empresa e melhorar as perspetivas para o futuro.

Finalmente, e porque o investimento é sempre um processo contínuo e dinâmico, a alteração de processos resultante da introdução dos novos sistemas de produção lança novos desafios e cria novas oportunidades, que futuramente podem ser estudadas e eventualmente aproveitadas para melhorar o funcionamento da cerâmica.

Trabalhos futuros:

A curto prazo a prioridade é preparar a empresa para a produção dos modelos de abobadilha de 24 (24 cm de altura), duas peças importantes para que a gama de oferta de abobadilha fique completa. Comercialmente, é um objetivo importante porque vai ao encontro das solicitações dos clientes e anula uma desvantagem em relação à concorrência. Com a enfora e desenfora já preparadas, são necessárias alterações que envolvem o carregador das estantes, o descarregador e as próprias estantes do secador.

A médio prazo, um conjunto de alterações pode ser introduzido nas linhas de produção de abobadilha, dependendo da estratégia da empresa, para melhorar os sistemas implementados neste trabalho, relacionadas com a qualidade do produto e com o aumento de produtividade.

- i) Sistemas de visão para controlo de qualidade. Na enfora, imediatamente a seguir ao virador no início da mesa de correntes M3C, para inspecionar a qualidade do produto, fissuras e cortes no material, com a vantagem de ser possível o reaproveitamento do material porque ainda não sofreu transformações irreversíveis. Na desenfora, na estação 2 (figura 60), reservada para o controlo de qualidade e antes da operação de cintagem.

As soluções obrigariam a um estudo cuidadoso para definir a iluminação, as câmaras e o *software* adequado, devidamente apoiado em bibliotecas apropriadas para a especificidade do trabalho em causa. Os sistemas poderiam ser integrados

facilmente no funcionamento de ambas as linhas, bloqueando o avanço do material, e alertando o operador para que este possa agir em conformidade;

- ii) Aumento da linha final de armazenamento das paletes de produto acabado na desenfora. O objetivo seria o de evitar as paragens na linha de desenfora provocados pelos atrasos na descarga de paletes, nas alturas em que o empilhador está ocupado a carregar os camiões dos clientes, os quais, naturalmente, têm de possuir prioridade. Implica a montagem de uma mesa para efetuar o transbordo automático no final da última mesa de correntes da desenfora M10C, e uma linha paralela, com espaço para o armazenamento de pelo menos uma dezena de paletes de produto acabado;
- iii) Introdução de uma paleta com maiores dimensões para a abobadilha. Esta situação, já referida anteriormente, iria implicar um aumento considerável na capacidade de produção da desenfora devido ao aumento do número de peças por paleta. Contudo, implicaria a utilização de duas paletes distintas, uma para o tijolo e outra para a abobadilha;

Outras alterações mais abrangentes, que extravasam o âmbito deste trabalho, poderiam ser referidas e que melhorariam substancialmente o processo, a qualidade do produto e os índices de produtividade da empresa. A crise prolongada do setor abrandou o investimento e multiplicou as áreas carenciadas com forte potencial de melhoria. Na cerâmica estrutural, indústria de capital intensivo e caracterizada por uma forte componente na automação de processos, diariamente surgem novos problemas e constantemente se colocam novos desafios.

BIBLIOGRAFIA

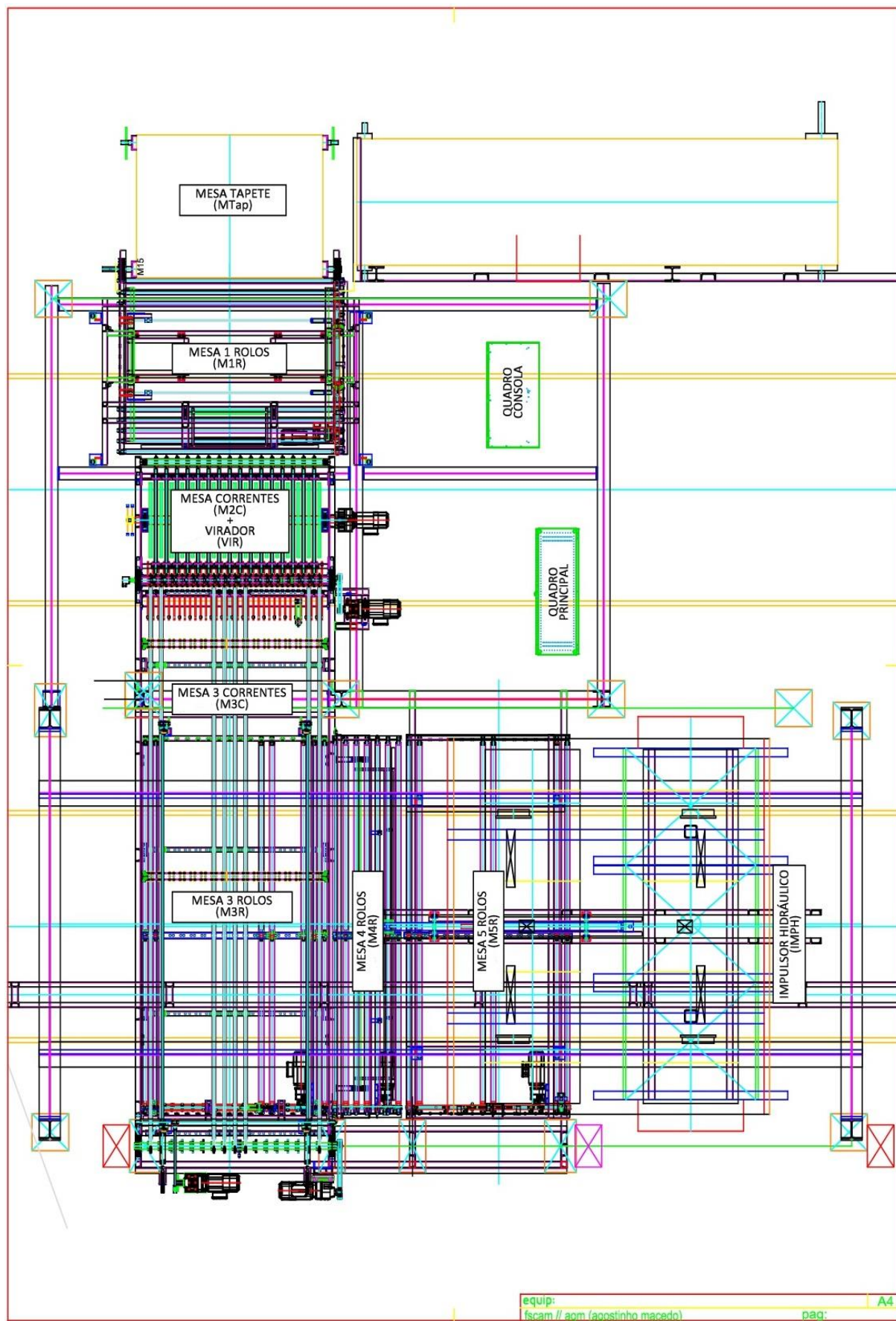
- Ahmed, H. A. (2011). *Efficient Web-Based Scada System*. Master of Science - Faculty of Engineering South Valley University.
- Alphonsus, E., & Abdullah, M. (2016). *A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 60 (2016) 1185–1205.
- Alves, P. G. (2014). *A Distributed Security Event Correlation Platform for SCADA*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra.
- Arvind, A. (2016). *Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems*. Master of Science in Robotics - School of Computer Science.
- Carvalho. (2003). *Sebenta de Organização de Sistemas Produtivos*. Universidade do Minho.
- Chase e Aquilano. (1995). *Gestão da produção e das operações*. Monitor - Projectos e Edições Lda. ISBN 972-9413-25-8.
- Chen, J.-Y., Tai, K.-C., & Chen, G.-C. (2017). *Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform*. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems - Science Direct.
- Coutinho, C. P., Sousa, A., Dias, A., Bessa, F., Ferreira, M. J., & Vieira, S. (2009). *Investigação-Acção: Metodologia preferencial nas práticas educativas*. Instituto de Educação, Universidade do Minho.
- Druyts, J. (2010). *Control Induction motor by frequency inverter*. School of Business and Engineering.
- Facincani, E. (1992). *Tecnología Ceámica - Los Ladrillos*. Farenza Editrice Iberica S.L. ISBN 84-87683-02-9.
- Fialho, A. B. (2004). *Automação hidráulica. Projetos, Dimensionamento e análise de circuitos*. Editora Érica Lda. ISBN 85-7194-892-5.
- Gartner. (2011). <http://www.gartner.com/newsroom/id/1590814>, Data de acesso: 03.2017. Retrieved from Gartner Says the worlds of IT and Operational Technology Are Converging.
- Gronau, N., Ullrich, A., & Teichmann, M. (2017). *Development of the Industrial IoT Competences in the Areas of Organization, Process, and Interaction based on the Learning Factory Concept*. Elsevier ScienceDirect.
- Groover. (2001). *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*. 2nd ed. Prentice-Hall, ISBN 0-13-088978-4.

- Group Rexroth Bosch. (2009). *Understanding the IEC61131-3 Programming Languages*,
Data de acesso: 09-10-2016.
- Hanák, M. (2017). *Advanced PLC programming methods*. Czech Technical University in
Prague - Bachelor Project Assignment.
- Hope, S. (2017, 03). *There is No Industrie 4.0 without OPC UA*. Retrieved from
OPCFoundation: <http://opcconnect.opcfoundation.org/2017/06/there-is-no-industrie-4-0-without-opc-ua/>
- InductiveAutomation. (2017, 05). *What is SCADA? The evolution of SCADA and Modern
SCADA systems*. Retrieved from InductiveAutomation:
<https://inductiveautomation.com/what-is-scada>
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*.
IFAC-PapersOnLine 48-3 (2015) 1870–1875 - Elsevier.
- Lempereur, G. (2015-2016). *Development of a embedded servomotor control*. Faculty of
Applied Sciences . University of Liege.
- Masdefiol, M. (2016). *Industry 4.0 – Only designed to fit the German automotive industry?*
Master Thesis in Business Administration of International Business School.
- Melconian, S. (2006). *Elementos de Máquinas (7ª Edição)*. Érica Ltda.
- Ochoa, S., Fortino, G., & Fatta, G. (2016). *Cyber-physical systems, internet of things and big
data*. Elsevier.
- OPCFoundation. (2016). *What is OPC?*, Data de acesso: 12.2016. Retrieved from
OPCFoundation: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>
- Open Source Computer Vision Library. (2016). <http://opencv.org/>, Data de acesso: 09-11-
2016. Retrieved from OpenCV. Open source computer vision.
- Palonen, T. (2014). *Distributed Data Management Of Automation System*. Master of Science
Thesis - Tampere University of Technology.
- Paraninfo. (2000). *Neumática SMC International Training*. Consuelo García Asensio ISBN:
84-283-2703-3.
- Rezai, A., Keshavarzi, P., & Moravej, Z. (2016). *Key management issue in SCADA networks:
A review*. Elsevier - Engineering Science and Technology, an International Journal.
- Rüttimann, B., & Stöckli, M. (2016). *Lean and Industry 4.0 - Twins, Partners, or Contenders?*
A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems.
Journal of Service Science and Management, pp. 485-500.
- Sajid, A., Abbas, H., & Saleem, K. (2016). *Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems
Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges*. IEEEAccess.
- Santos, A., & Silva, A. (2015). *Automação Integrada*. Publindústria.

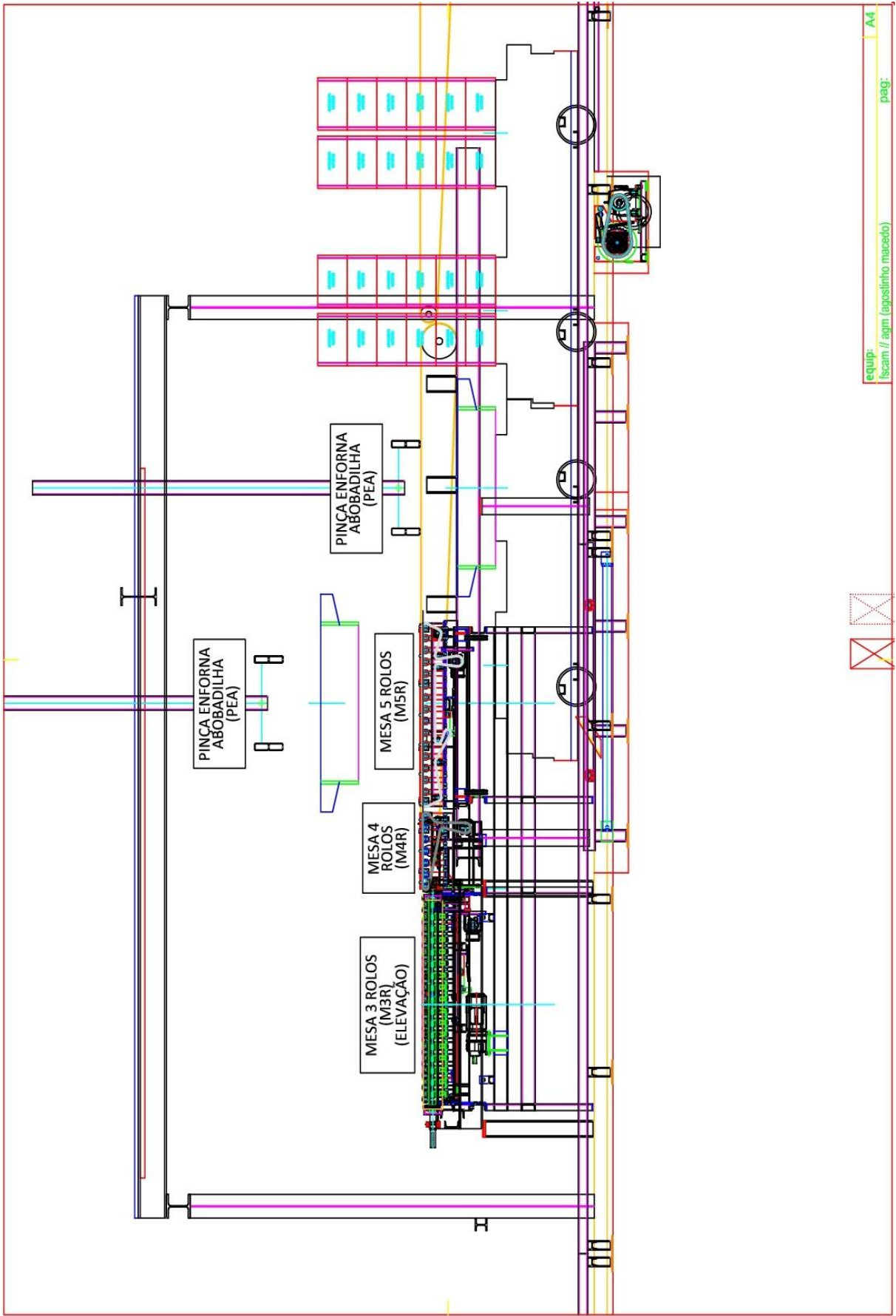
- Schleipen, M., Gilani, S.-S., Bischoff, T., & Pfrommer, J. (2016). OPC UA & Industrie 4.0 - enabling technology with high diversity and variability. *49th CIRP Conference on Manufacturing Systems*.
- Schlötzer, F. (2015). *Industry 4.0: The World of Smart Factories*. Master Thesis - Copenhagen Business School.
- Silva, S. (2006). *Textos de Apoio às Disciplinas de Organização e Gestão da Produção*. Universidade do Minho.
- Sousa, R., & Moreira, F. (2008). *Sistemas Automáticos de Produção*. Departamento de Produção e Sistema - Universidade do Minho.
- Stenerson. (1999). *Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensors, and Communications*. Prentice-Hall, Inc. ISBN 0-13-746124-0.
- Theorin, A. (2014). *A Sequential Control Language for Industrial Automation*. PhD Thesis, Department of Automatic Control, Lund University.
- Thiede, S., Juraschek, M., & Herrmann, C. (2016). *Implementing cyber-physical production systems in learning factories*. Elsevier.
- Turc, T. (2015). *Using WEB Services in SCADA Applications*. 8th Conference Interdisciplinarity in Engineering.
- Your Personal PLC Tutor Site. (2017). <http://www.plcs.net/chapters/transout28.htm>, Data de acesso: 10.2017. Retrieved from Your Personal PLC Tutor Site.

ANEXO I - DESENHOS DE PROJETO MECÂNICO

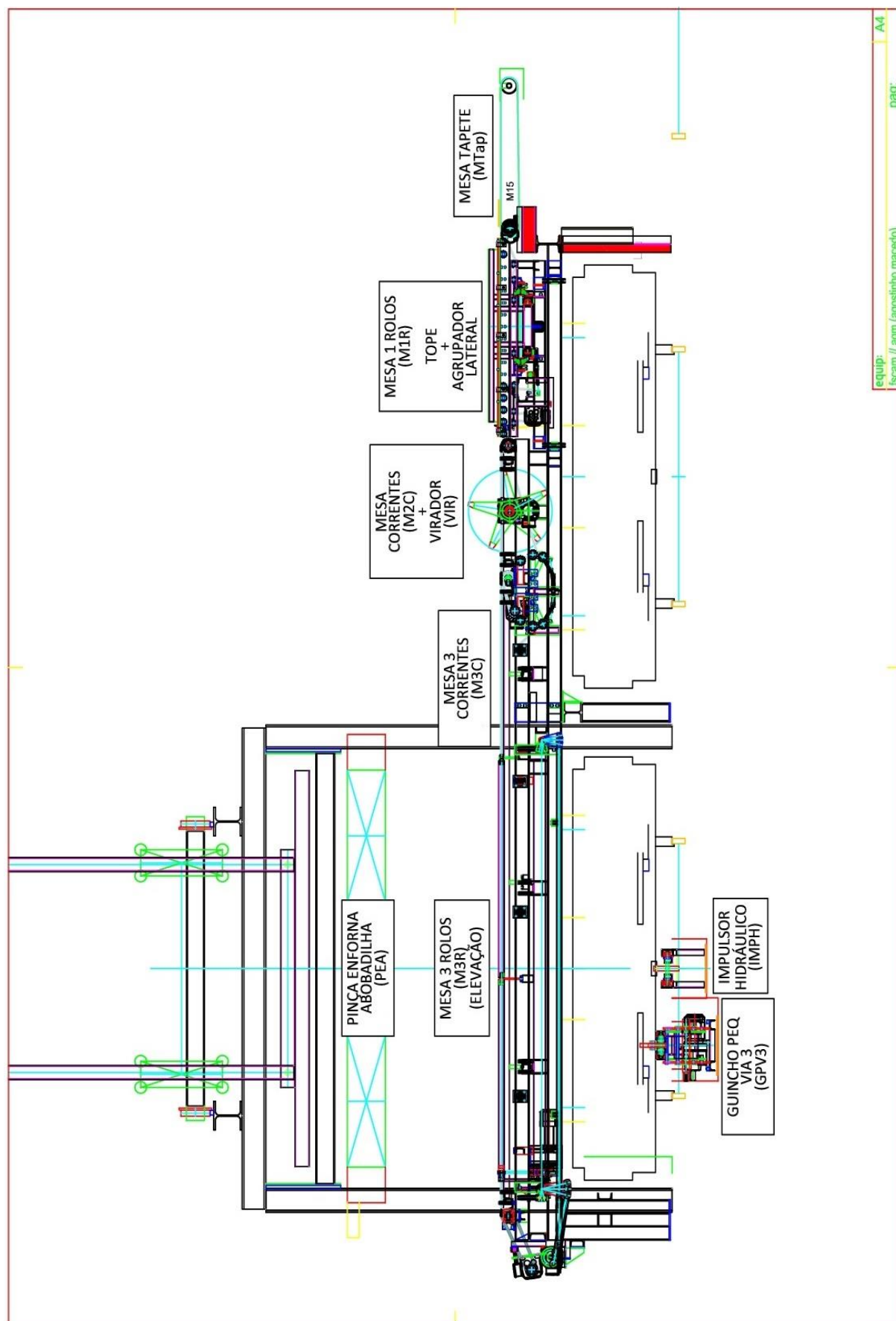
I.1 Enforna de abobadilha (vista superior / layout)



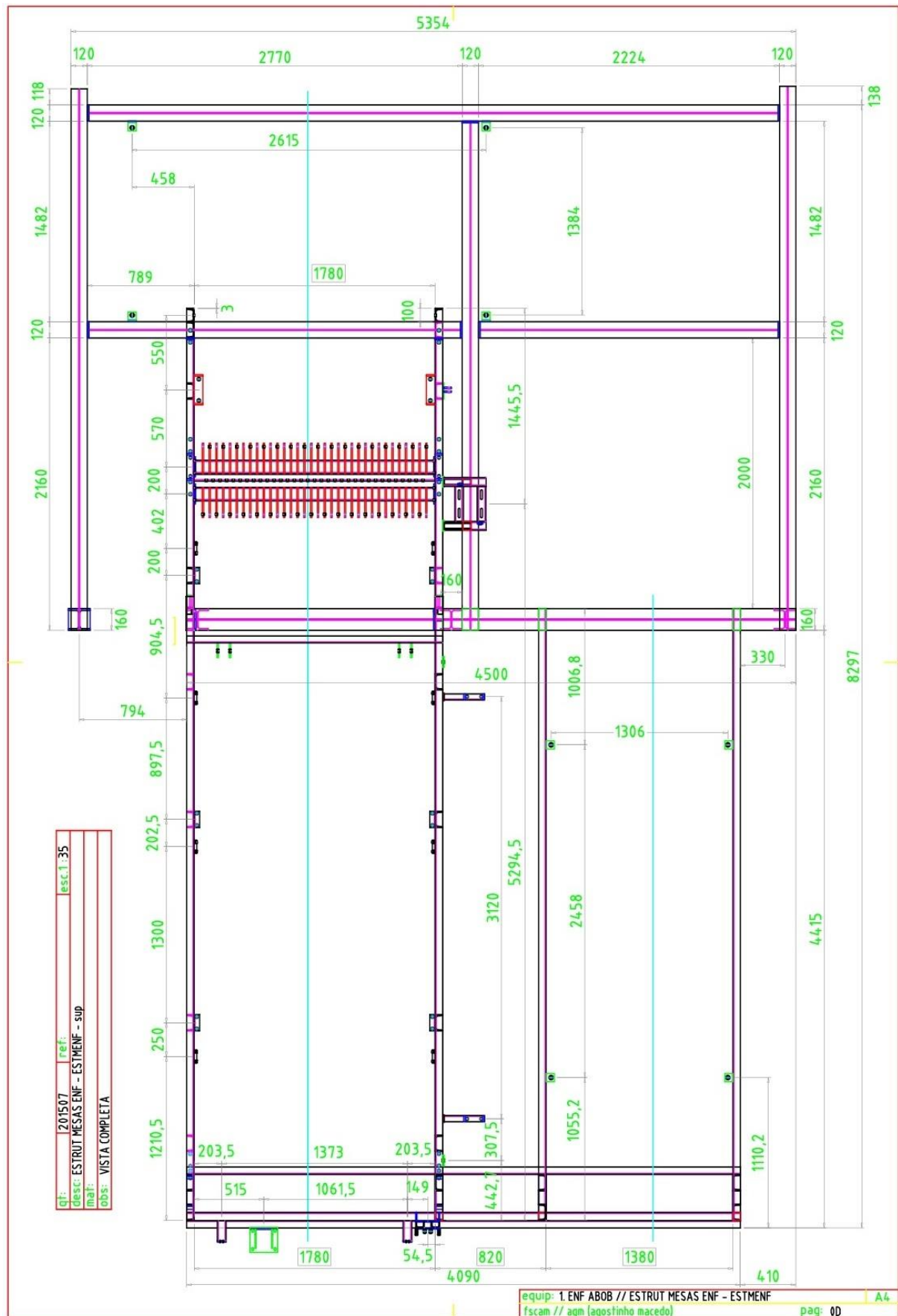
I.2. Enforna de abobadilha (vista lateral)



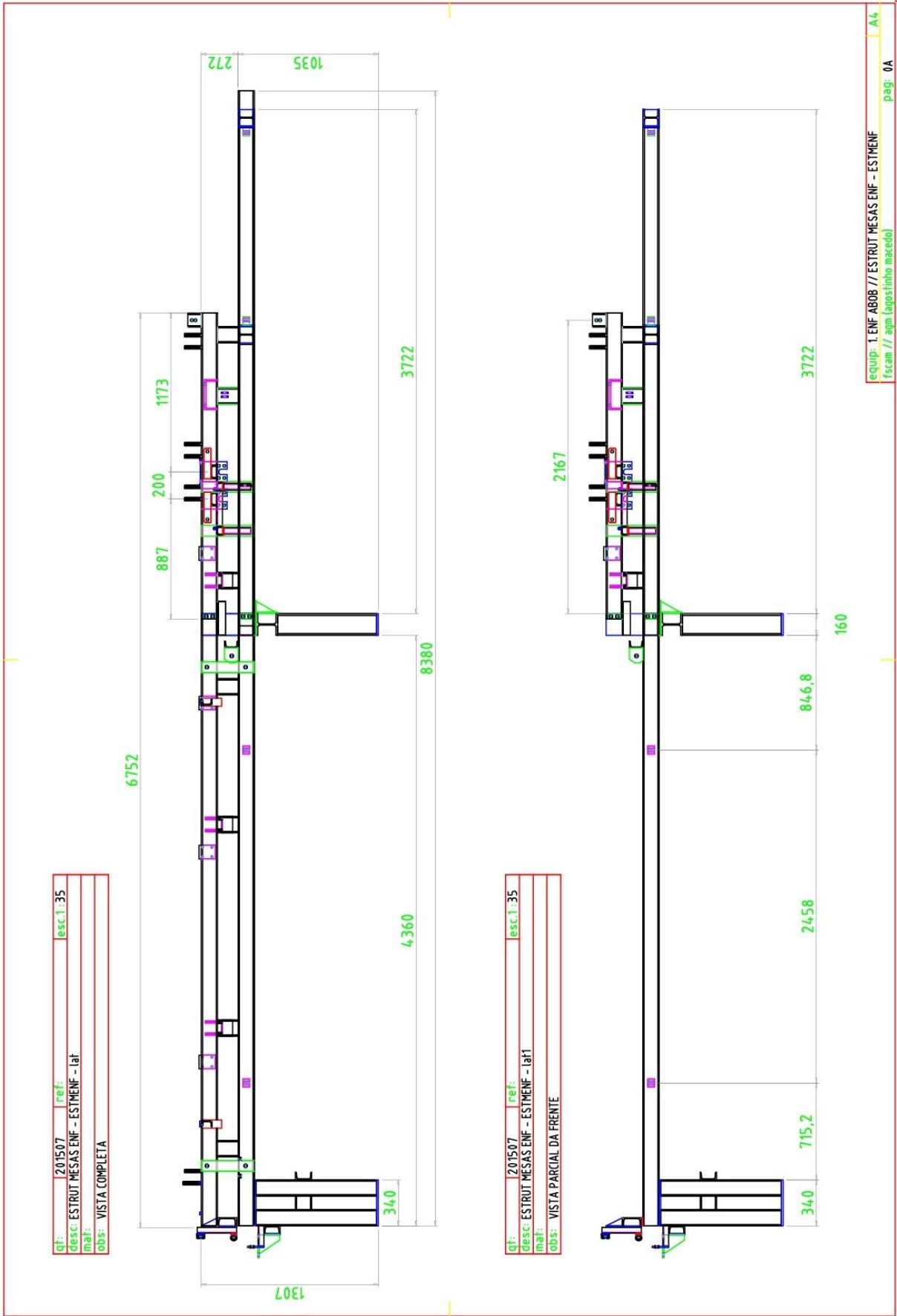
I.3 Enfora de abobadilha (vista frente)



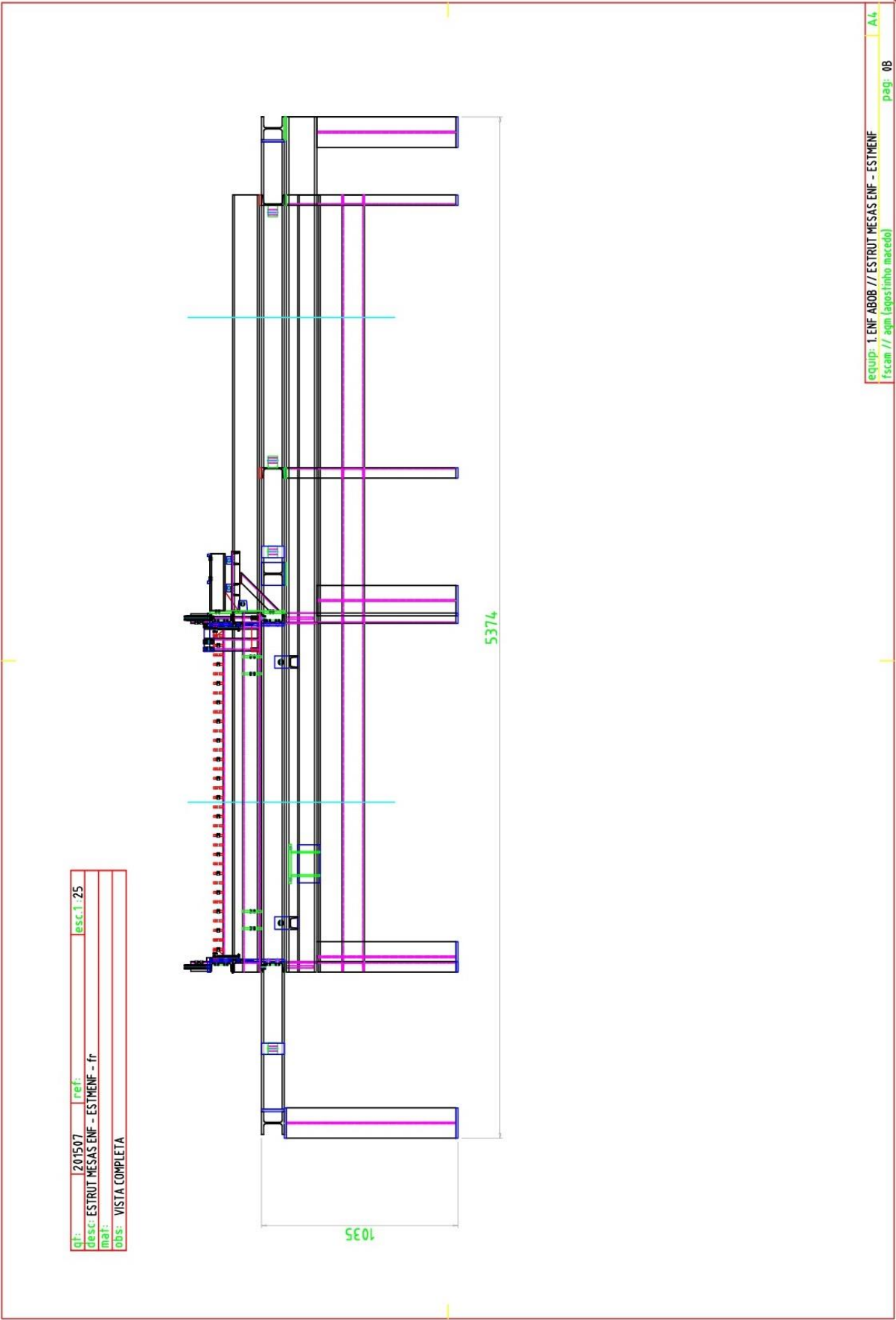
I.4 Estrutura das mesas da enfora de abobadilha (vista superior)



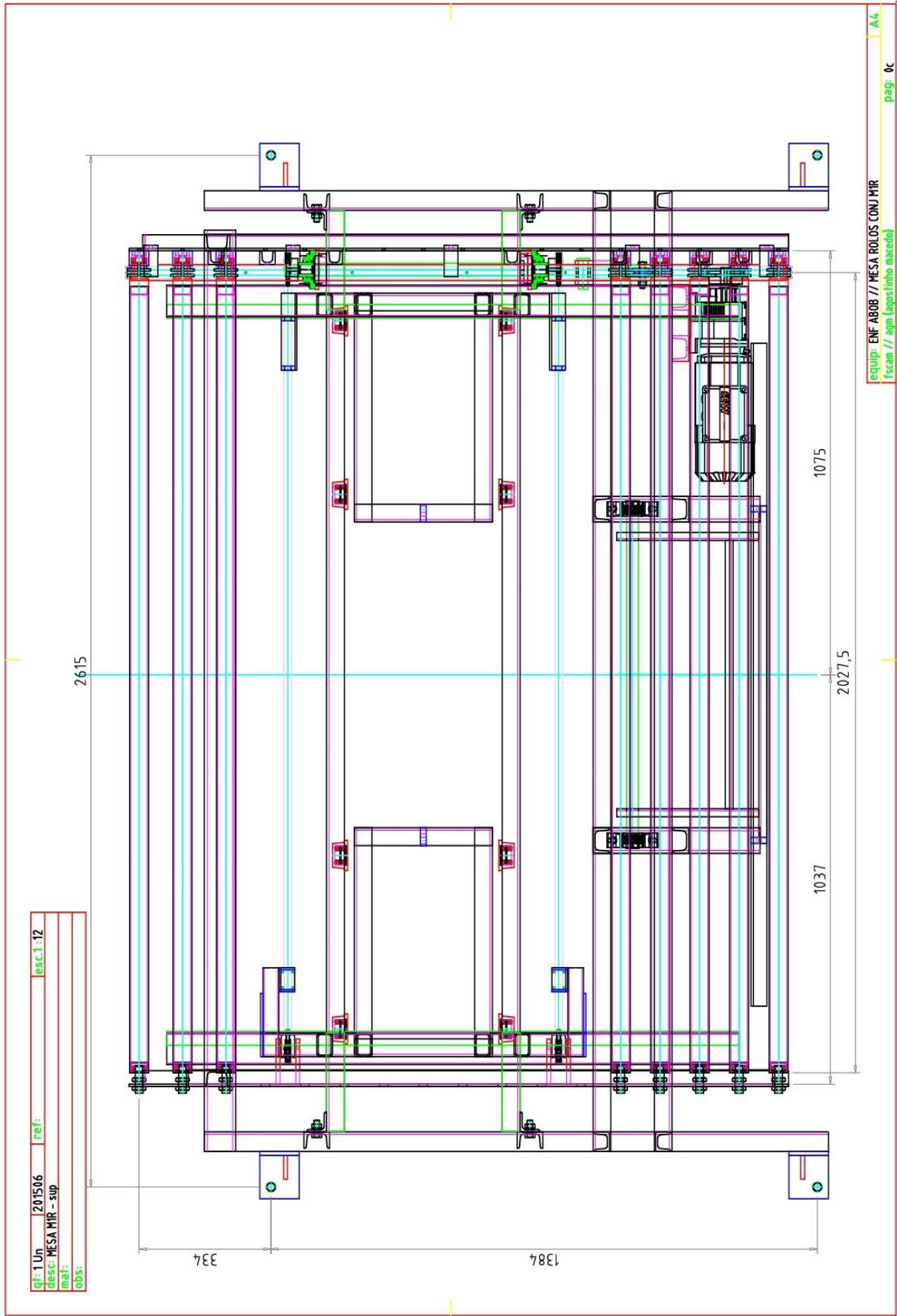
I.5 Estrutura das mesas da enfora de abobadilha (vista frente)



I.6 Estrutura das mesas de enforna de abobadilha (vista lateral)

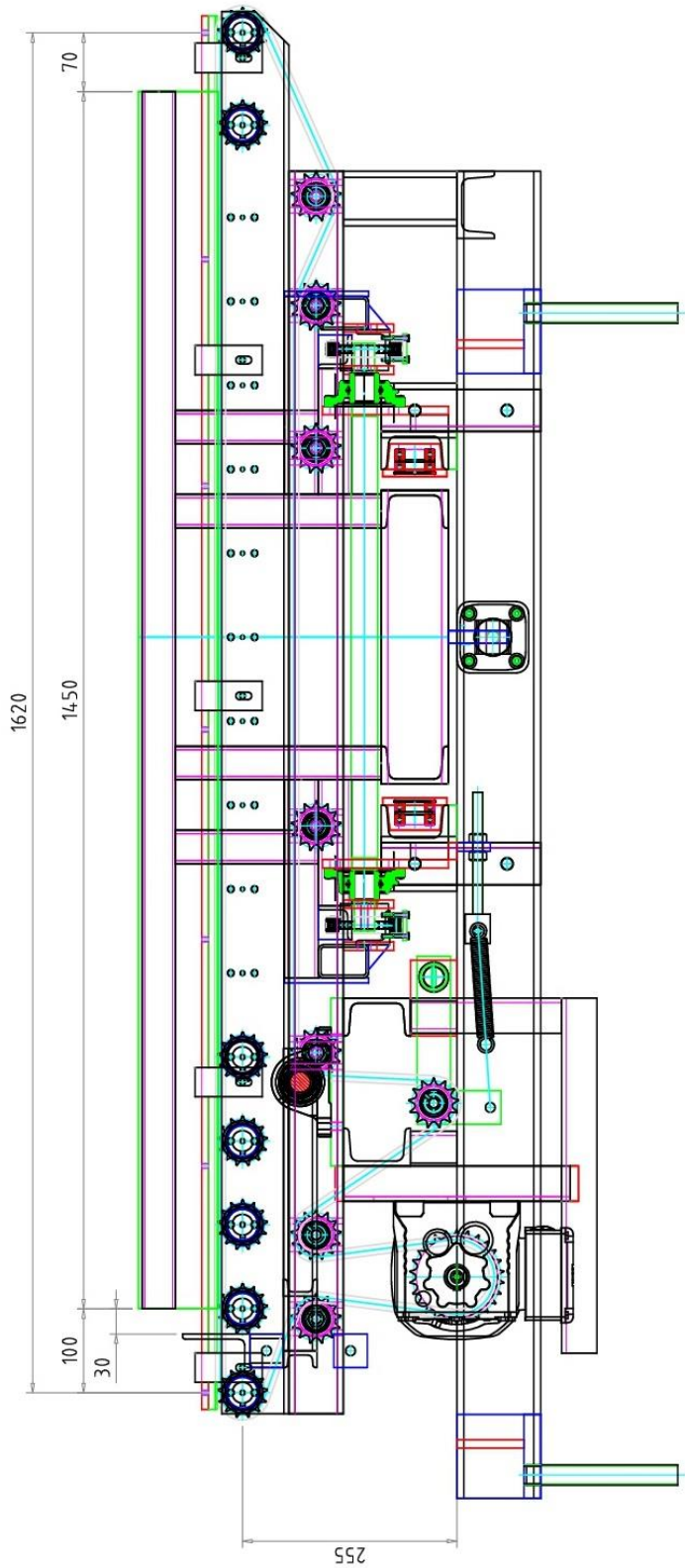


I.7 Mesa de rolos M1R com tope e agrupador lateral (vista superior)

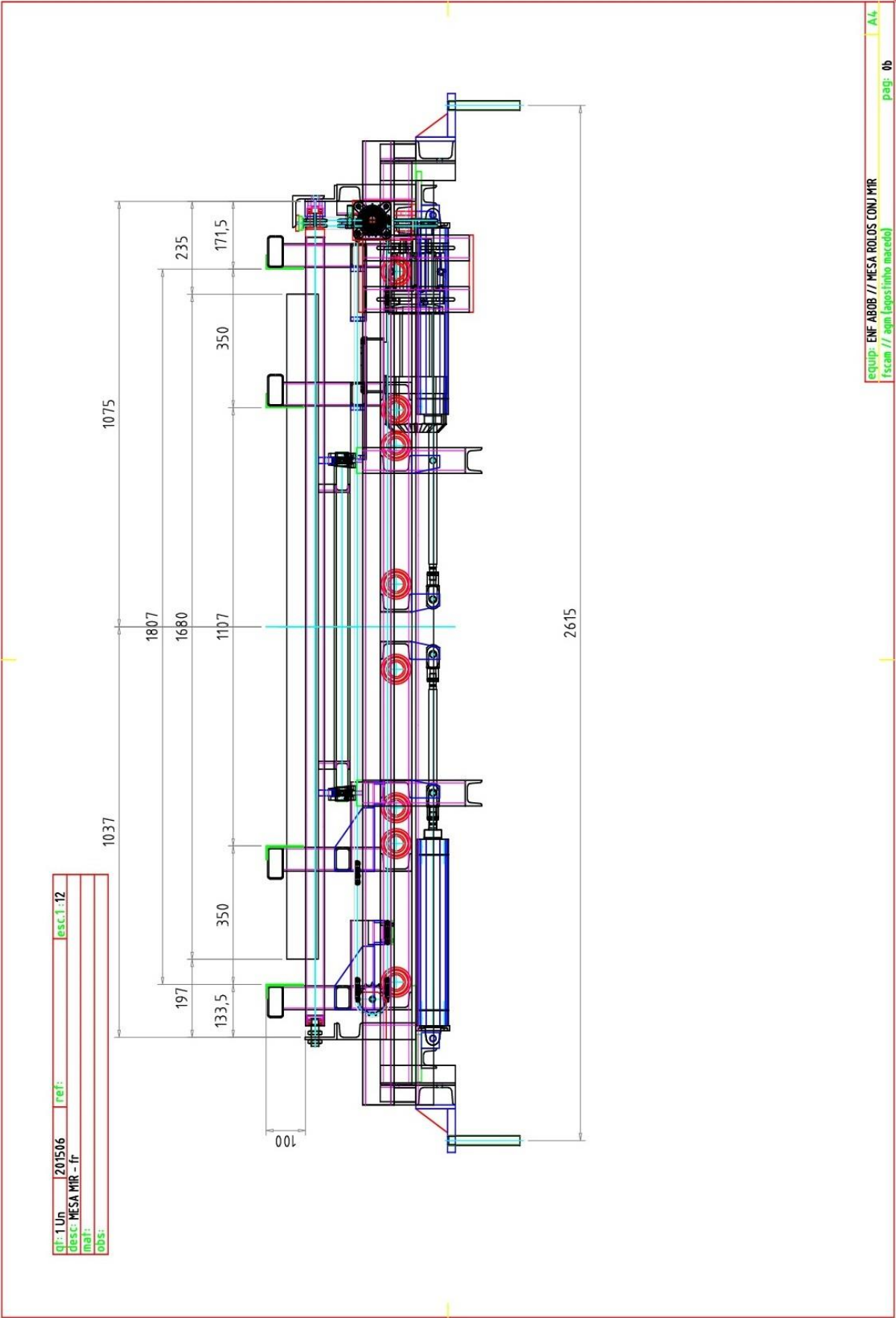


I.8 Mesa de rolos M1R com tope e agrupador lateral (vista lateral)

qt:	1 UN	201506	ref:	esc.1:7.5
desc:	MESA MIR - lat			
mat:				
obs:				

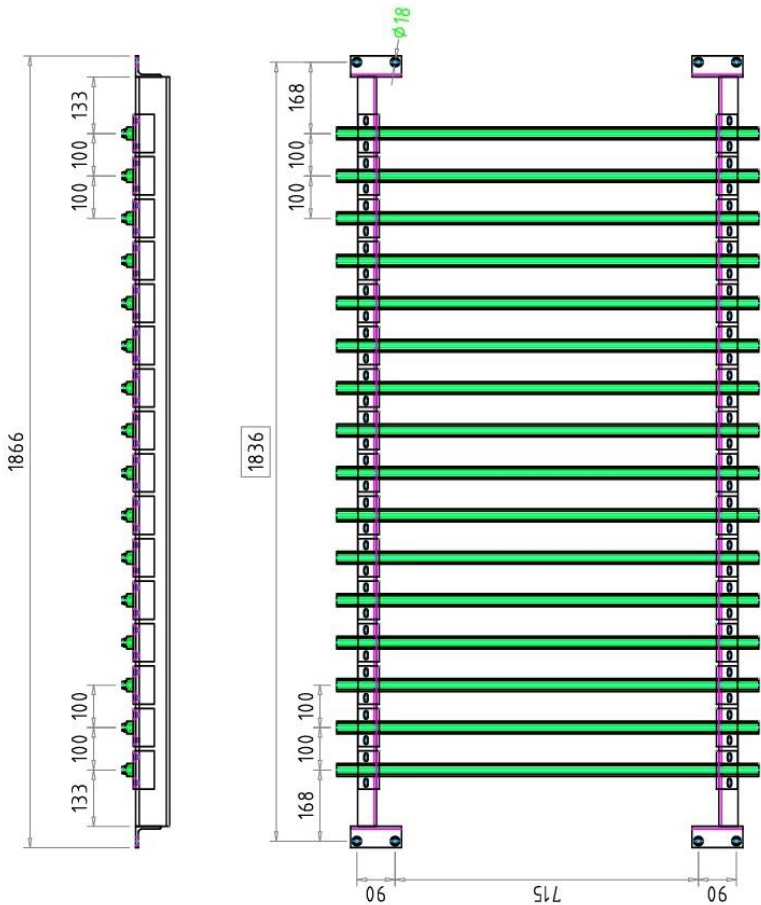


I.9 Mesa de rolos M1R com tope e agrupador lateral (vista frente)

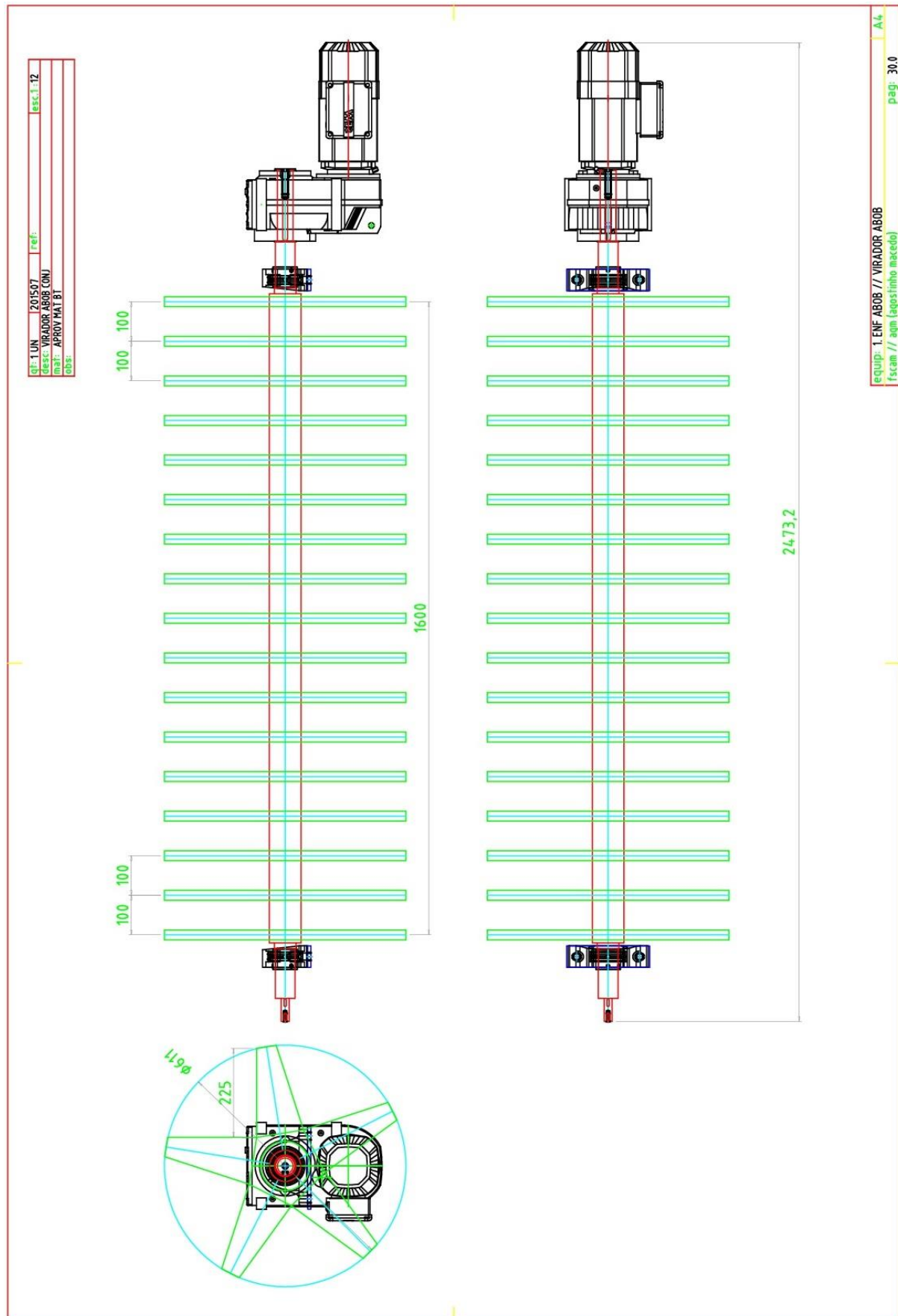


I.10 Mesa de correntes M2C (apoio das correntes de transporte)

qt: 1 UN	201506	ref:	esc.1:15
desc:	APOIO CORR-TRANSP M2C CONJ		
mat:			
obs:			

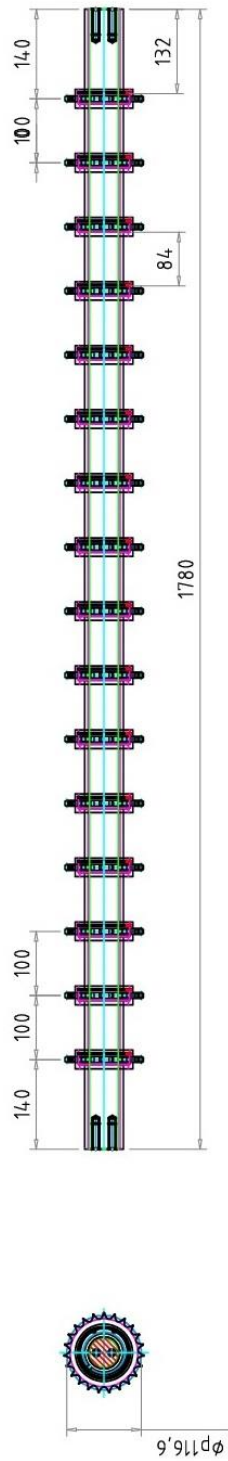


I.11 Virador VIR na mesa de correntes M2C

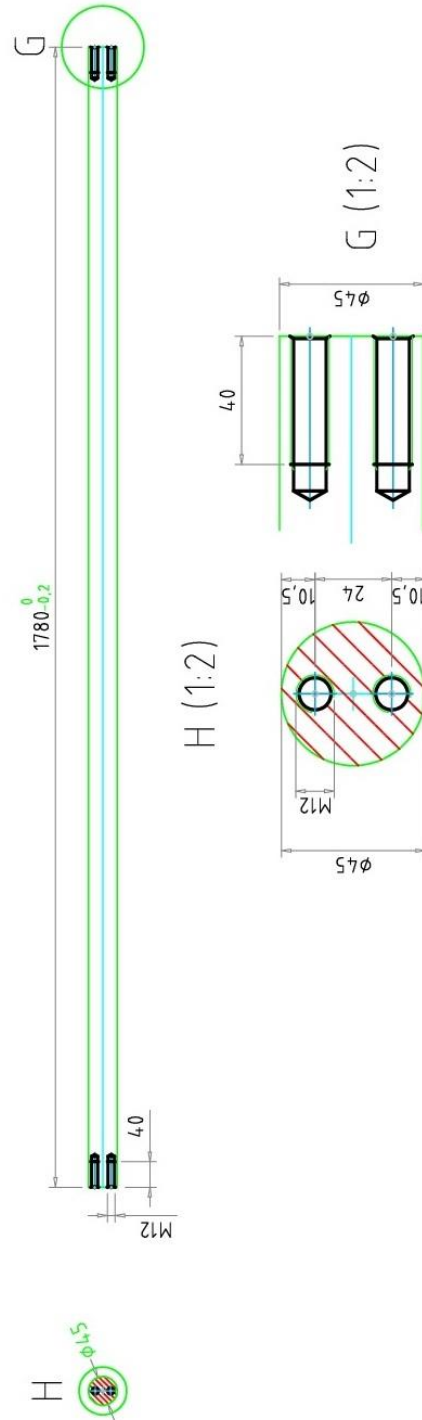


I.12 Veio de trás da mesa de correntes M2C

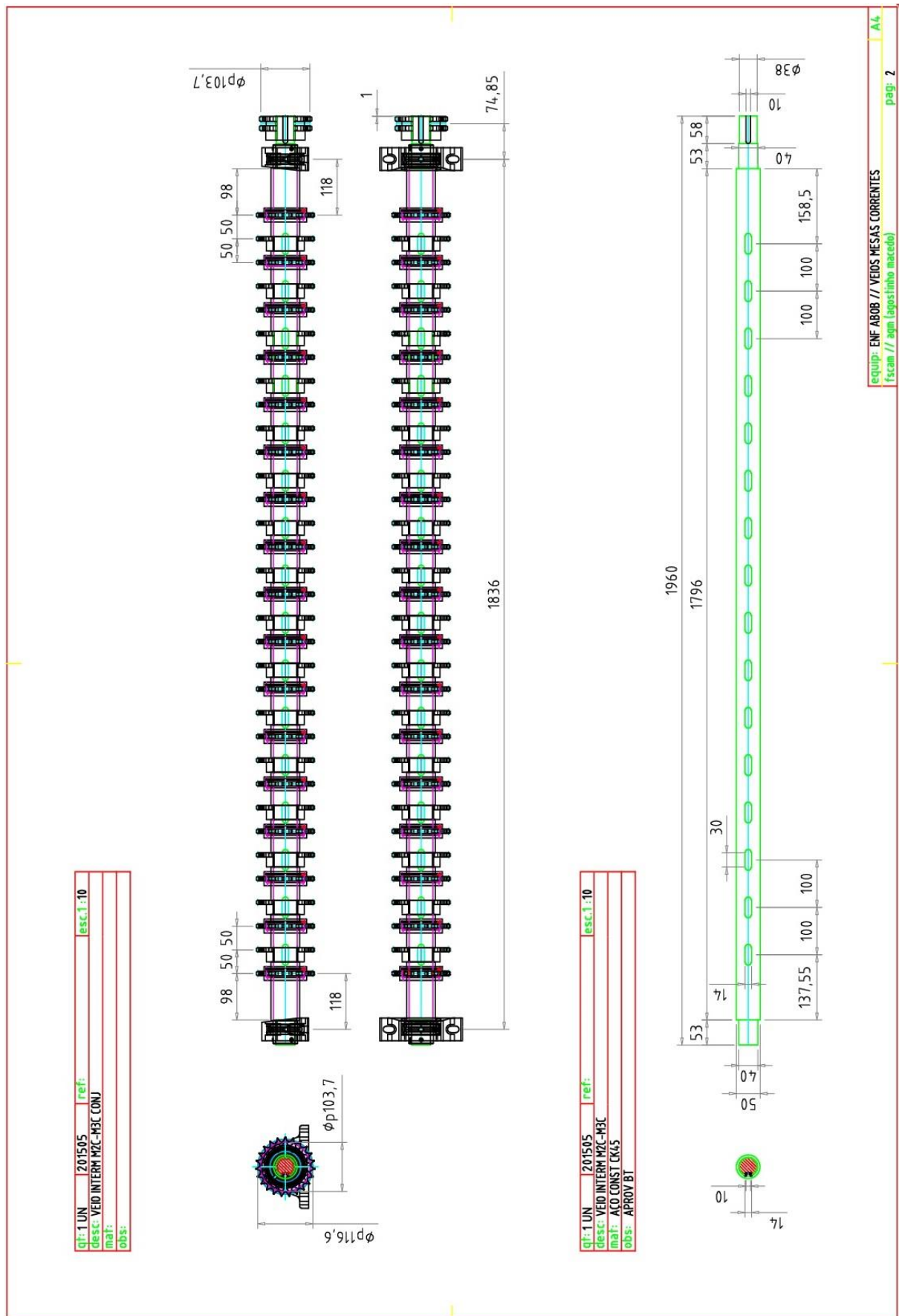
qt: 1 UN	201505	ref:	esc.1:10
desc: VEIO TRAS MESA M2L CONJ			
mat:			
obs:			



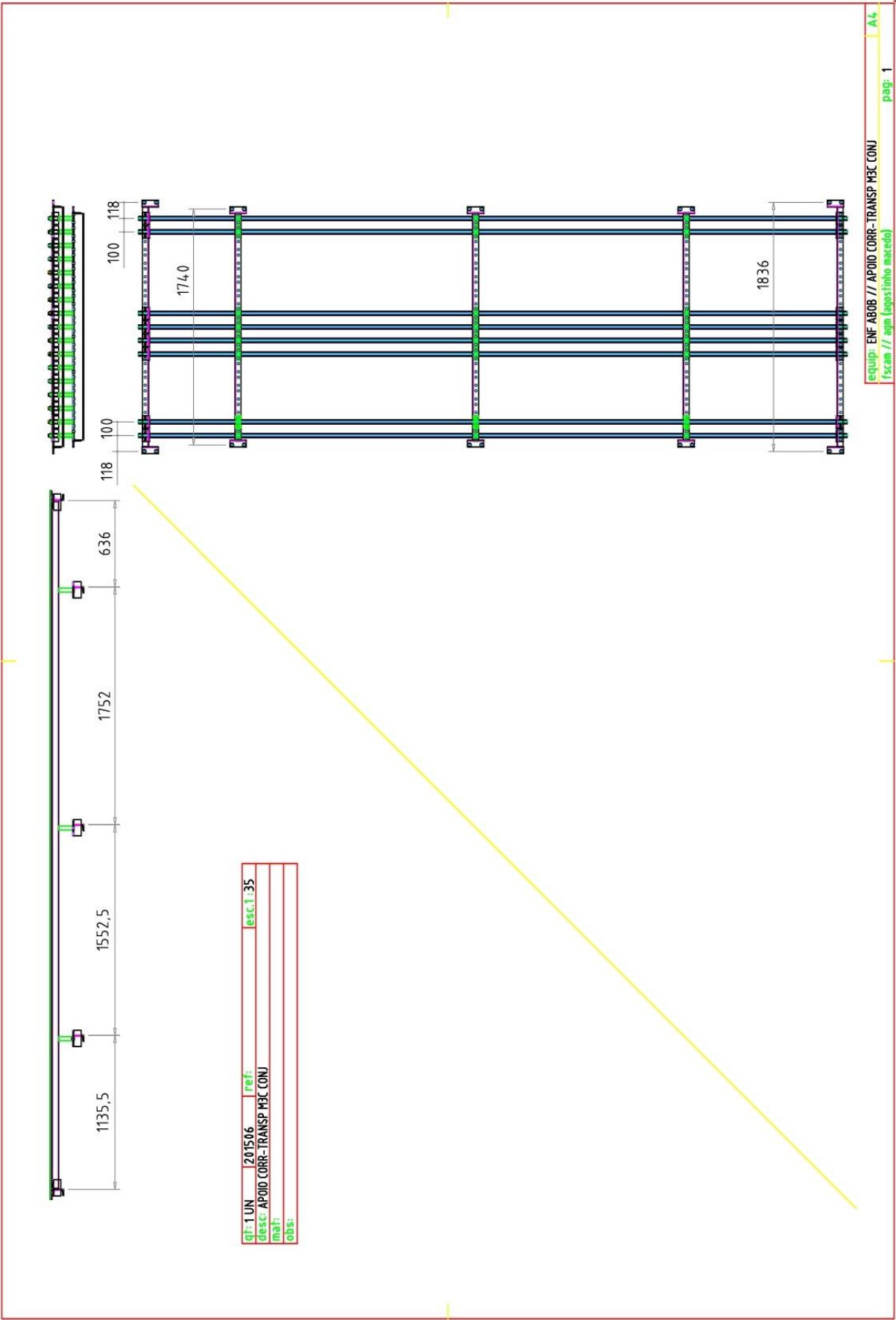
qt: 1 UN	201505	ref:	esc.1:10
desc: VEIO TRAS MESA M2C			
mat: AÇO CONST CK45			
obs: APROV BT			



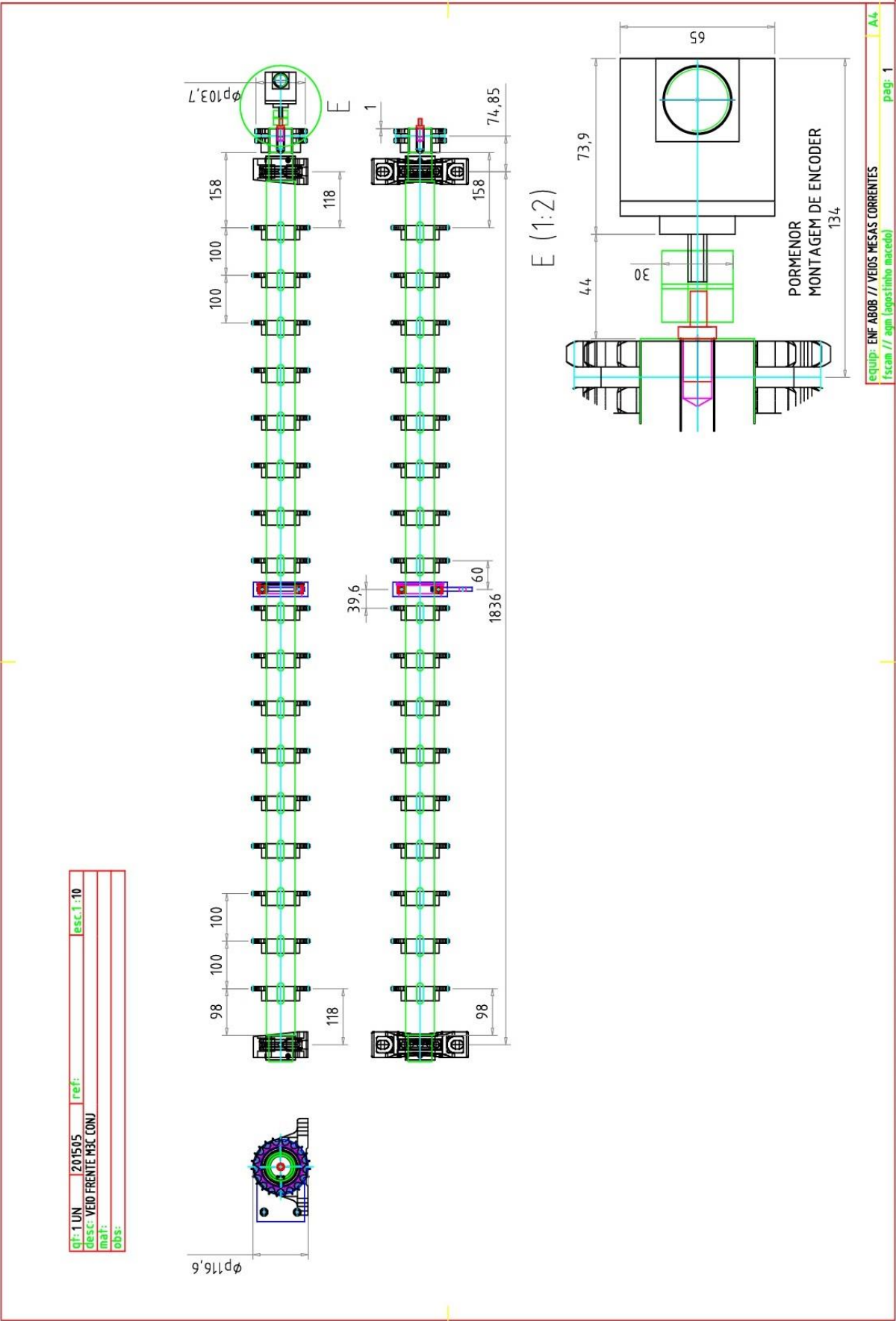
I.13 Veio intermédio das correntes das mesas M2C e M3C



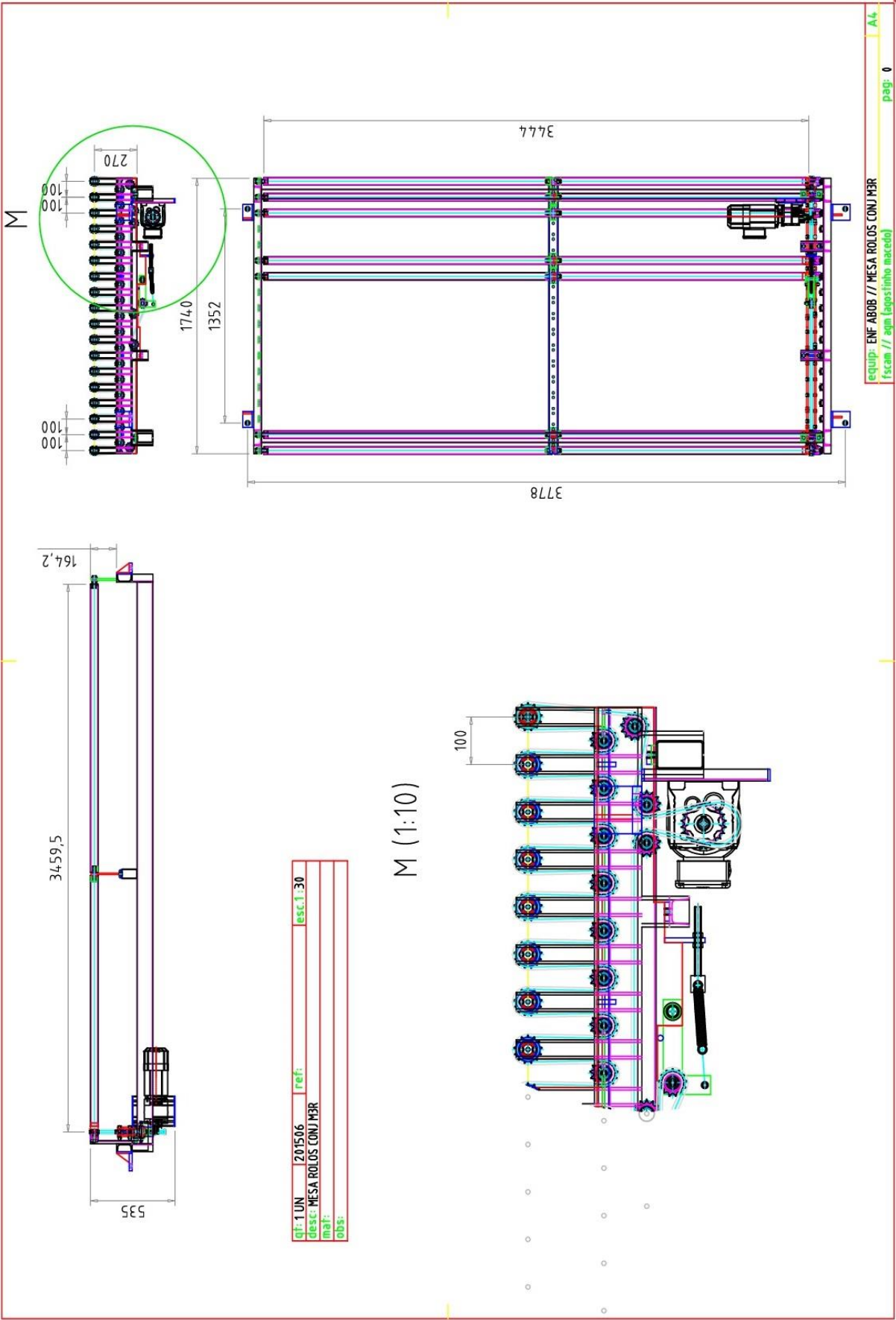
I.14 Apoio das correntes de transporte da mesa M3C



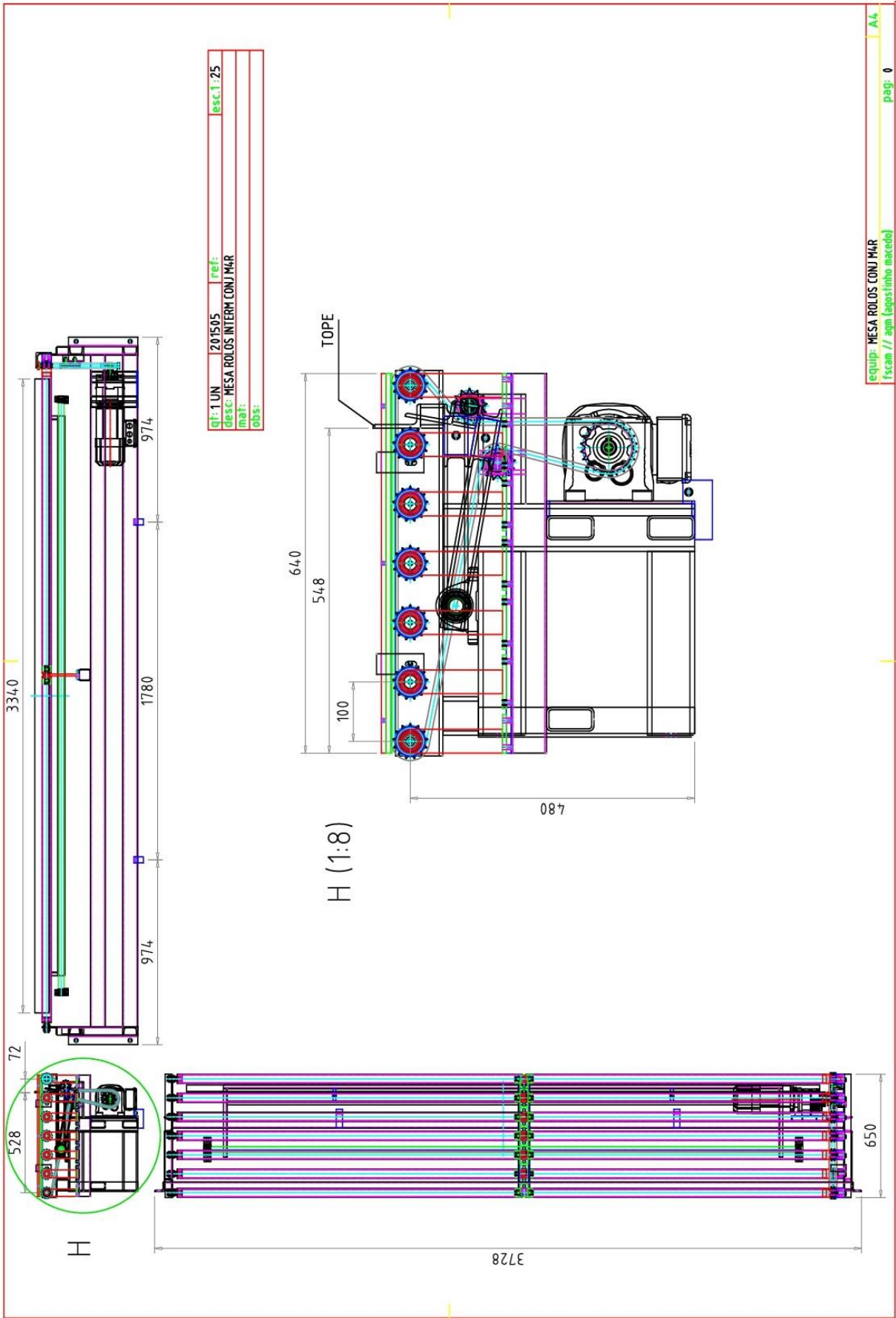
I.15 Veio da frente das correntes da mesa M3C



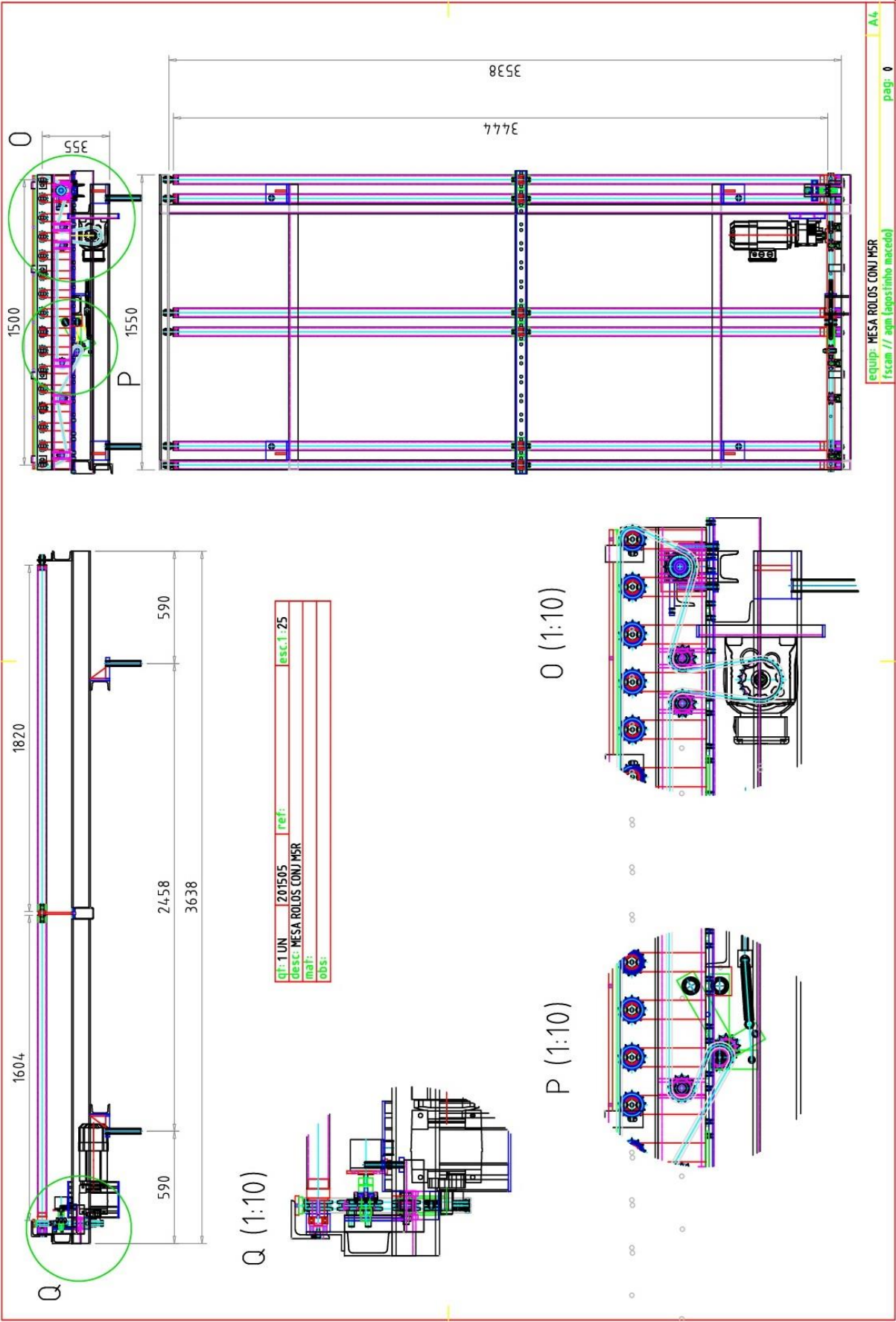
I.16 Mesa de rolos elevatória M3R



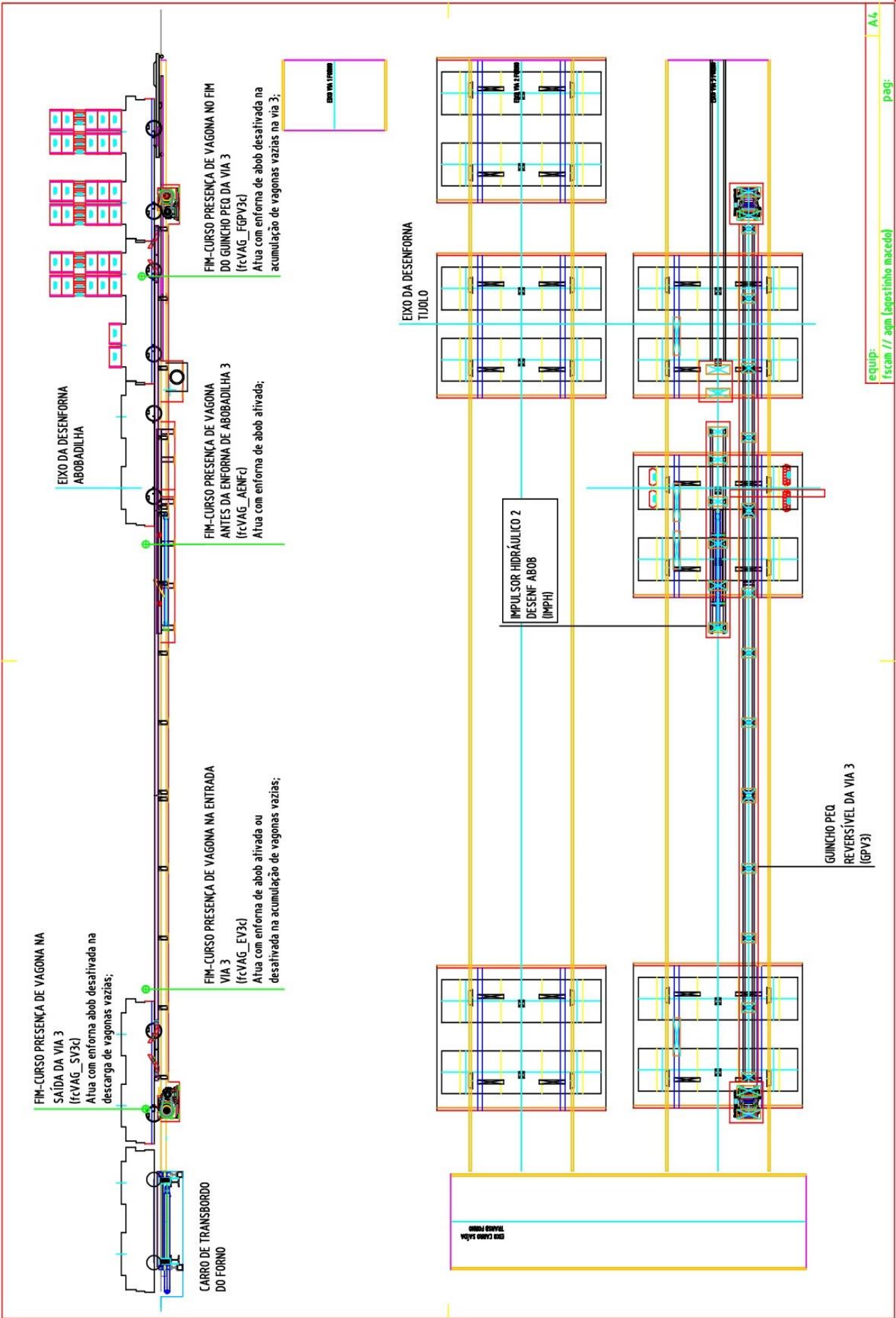
I.17 Mesa de rolos com tope M4R



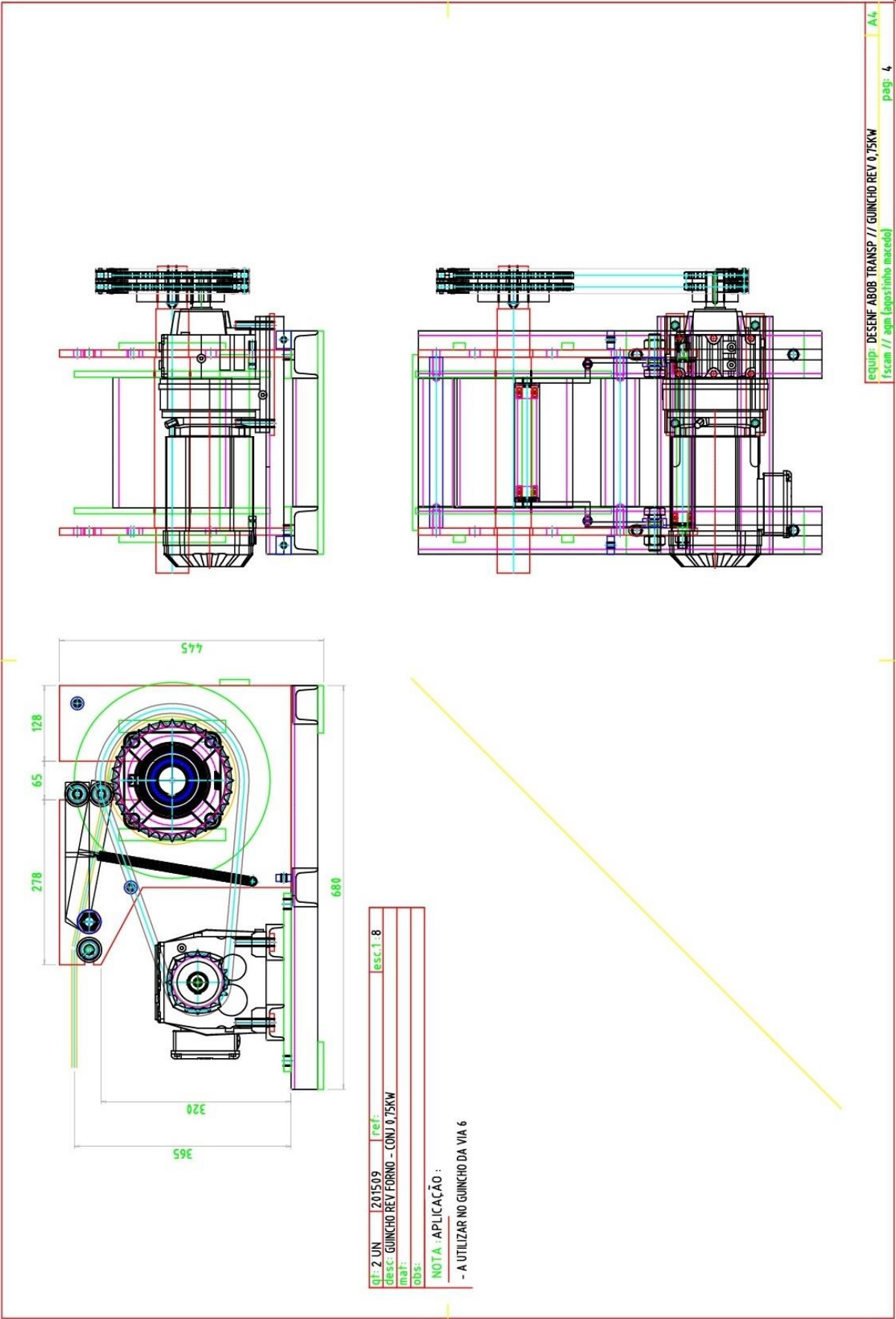
I.18 Mesa de rolos M5R



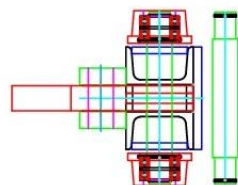
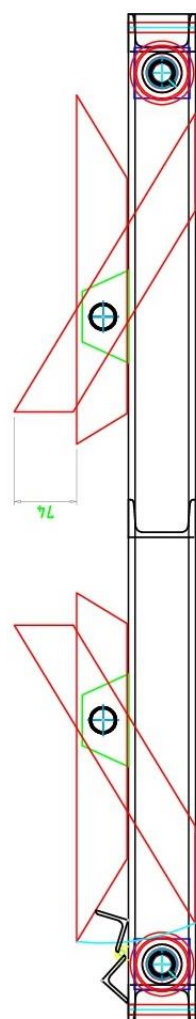
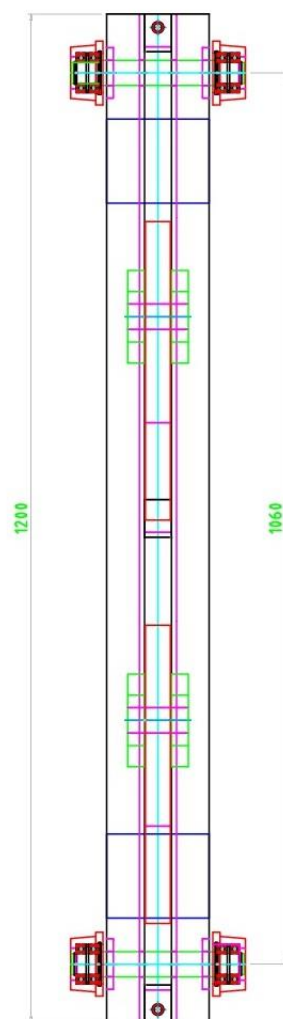
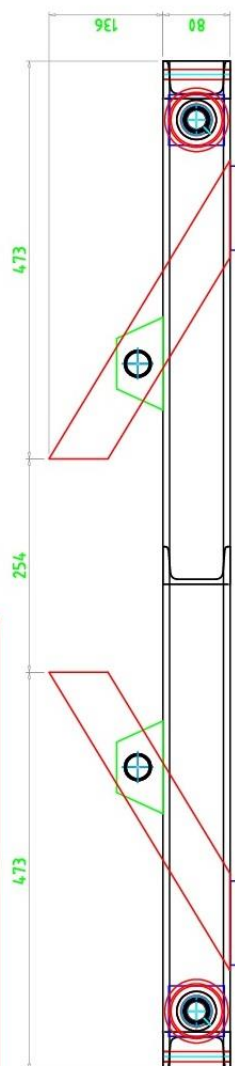
I.19 Movimentação de vagons na enforna de abobadilha



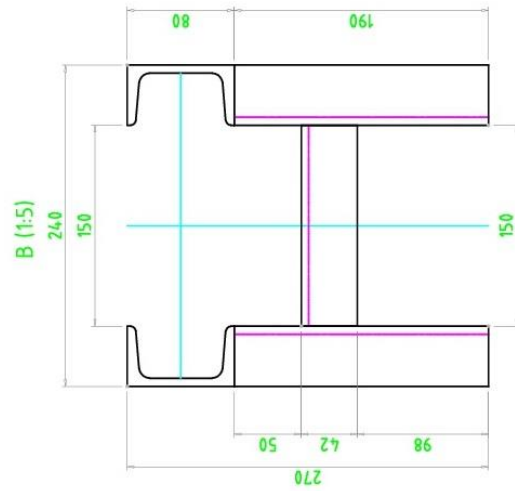
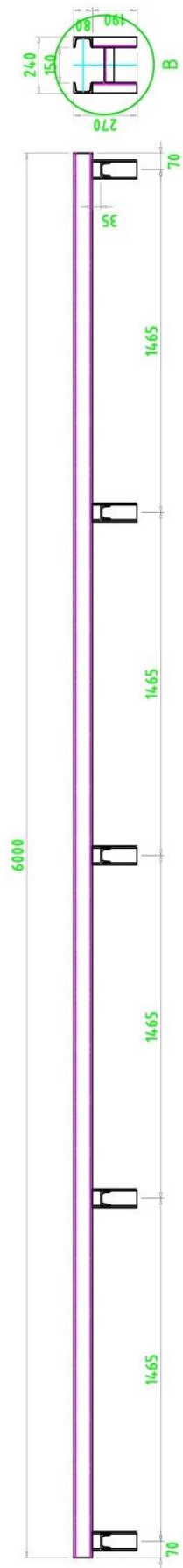
I.20 Guincho pequeno a via 3 GPV3 da enfora de abobadilha



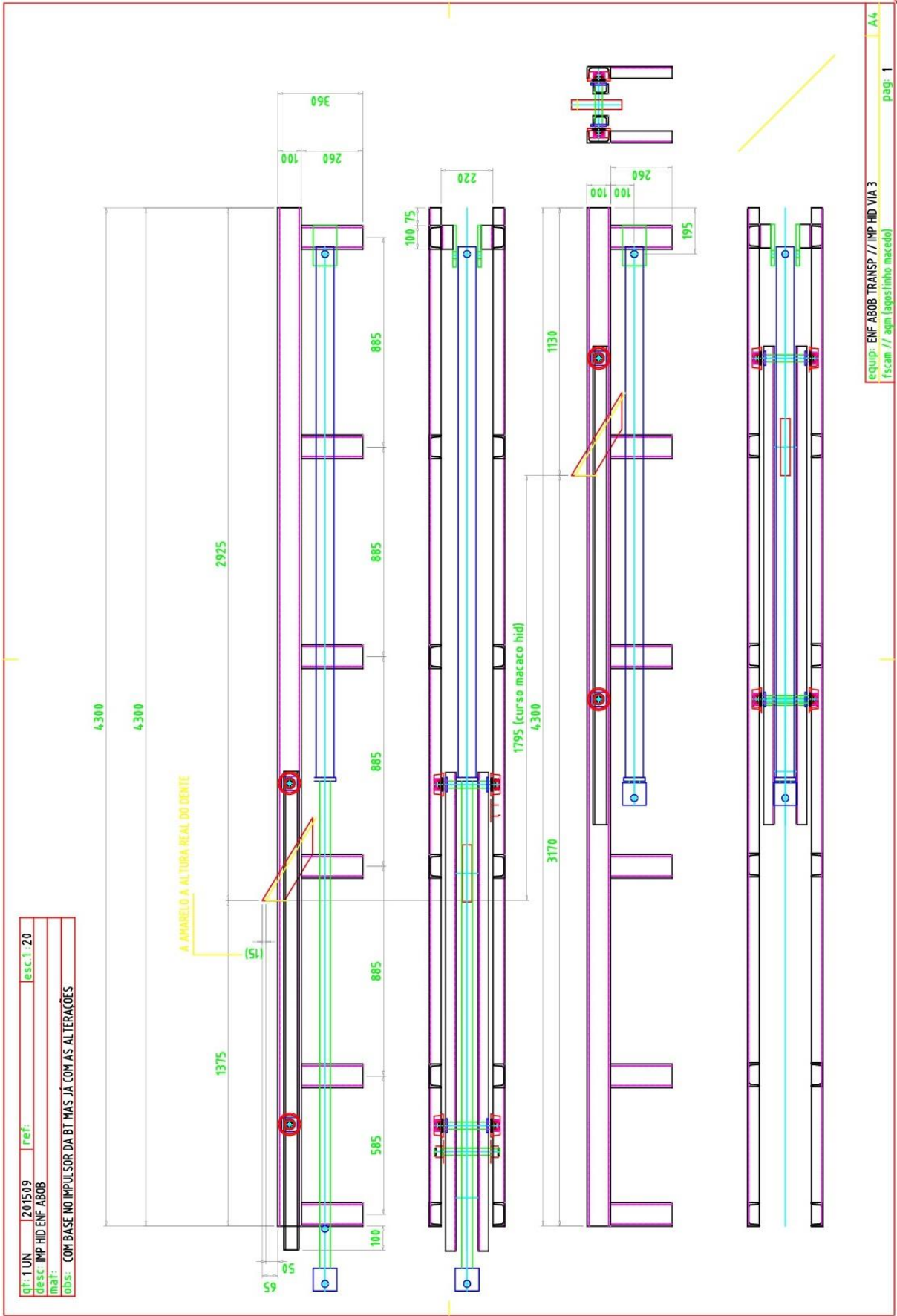
qt: 1 UN	201503	ref:	esc: 1 - 7.5
desc:	CARRO GUINCHO BIDIRECIONAL		
mat:			
obs:			



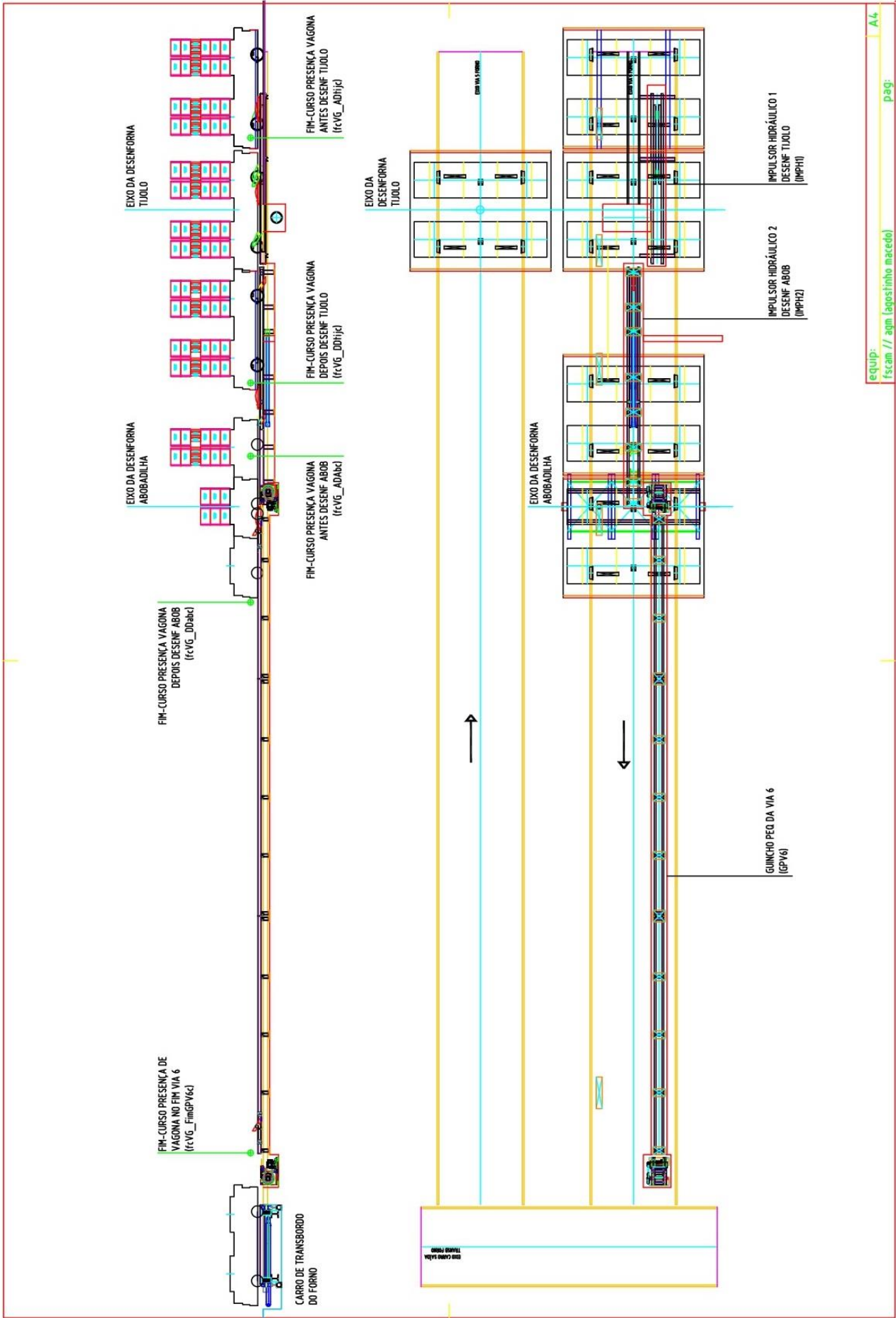
qt:	3 UN	201503	ref:	esc: 1:25
desc:	MOD 6000 GUIA GUINCHO VIA 3			
mat:				
obs:	3 MÓDULOS IGUAIS PARA O GUINCHO DA VIA 3			



I.21 Impulsor hidráulico da enfora de abobadilha

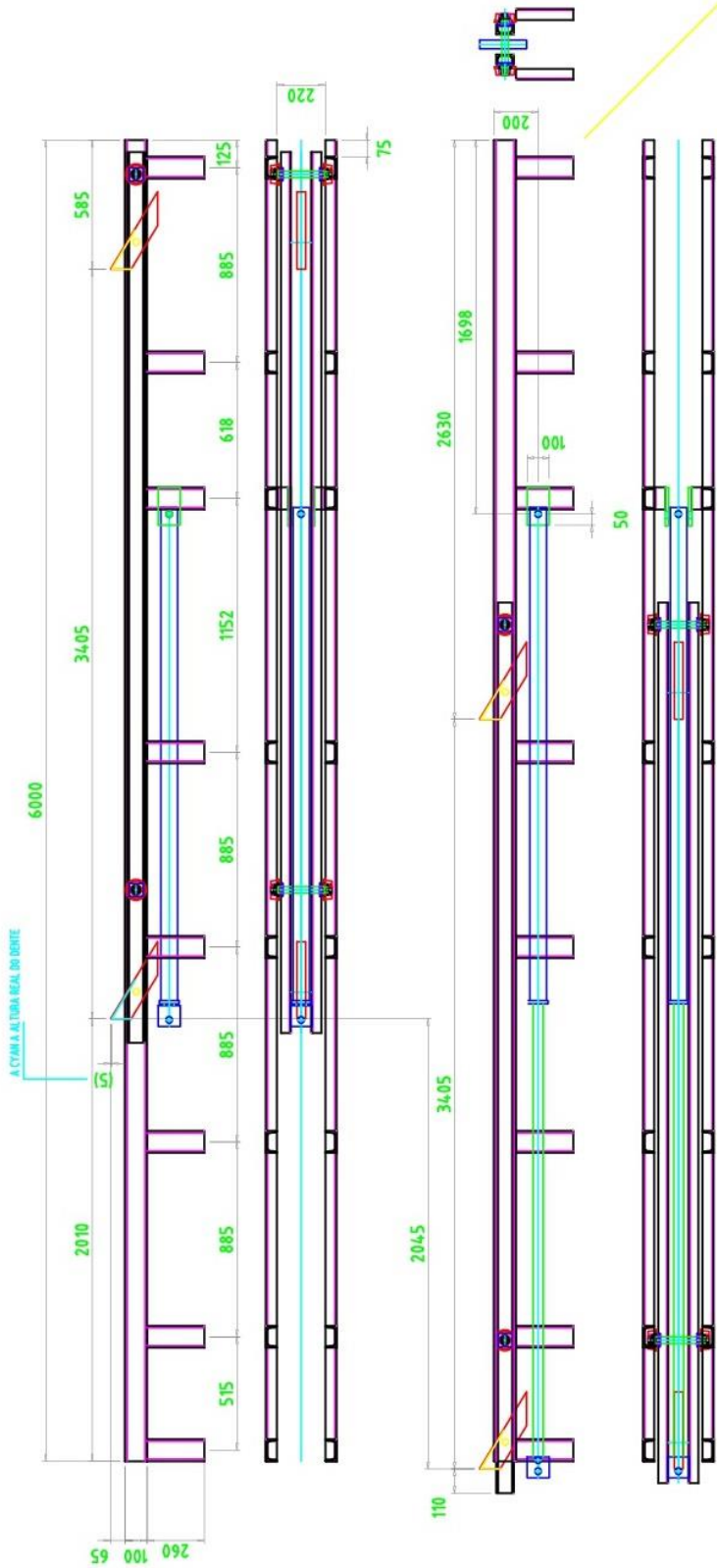


I.22 Movimentação de vagonas na desenforma de abobadilha



I.23 Impulsor hidráulico 2 da desenforna de abobadilha

qt: 1 UN	201509	ref:	esc: 1:20
desc:	IMP HID DUPLO DESENF ABOB		
mat:			
obs:	COM BASE NO IMPULSOR DA BT MAS JÁ COM AS ALTERAÇÕES		



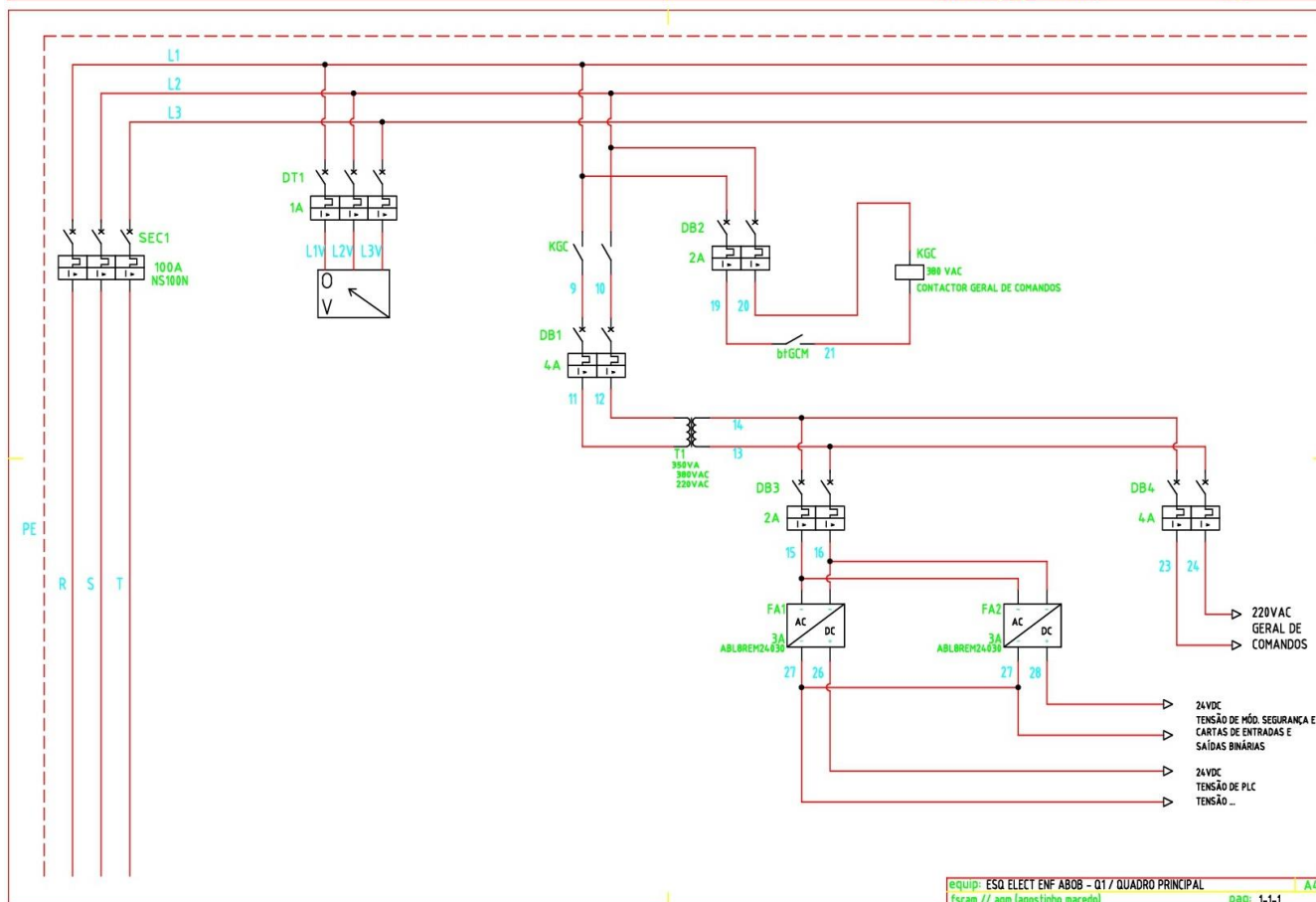
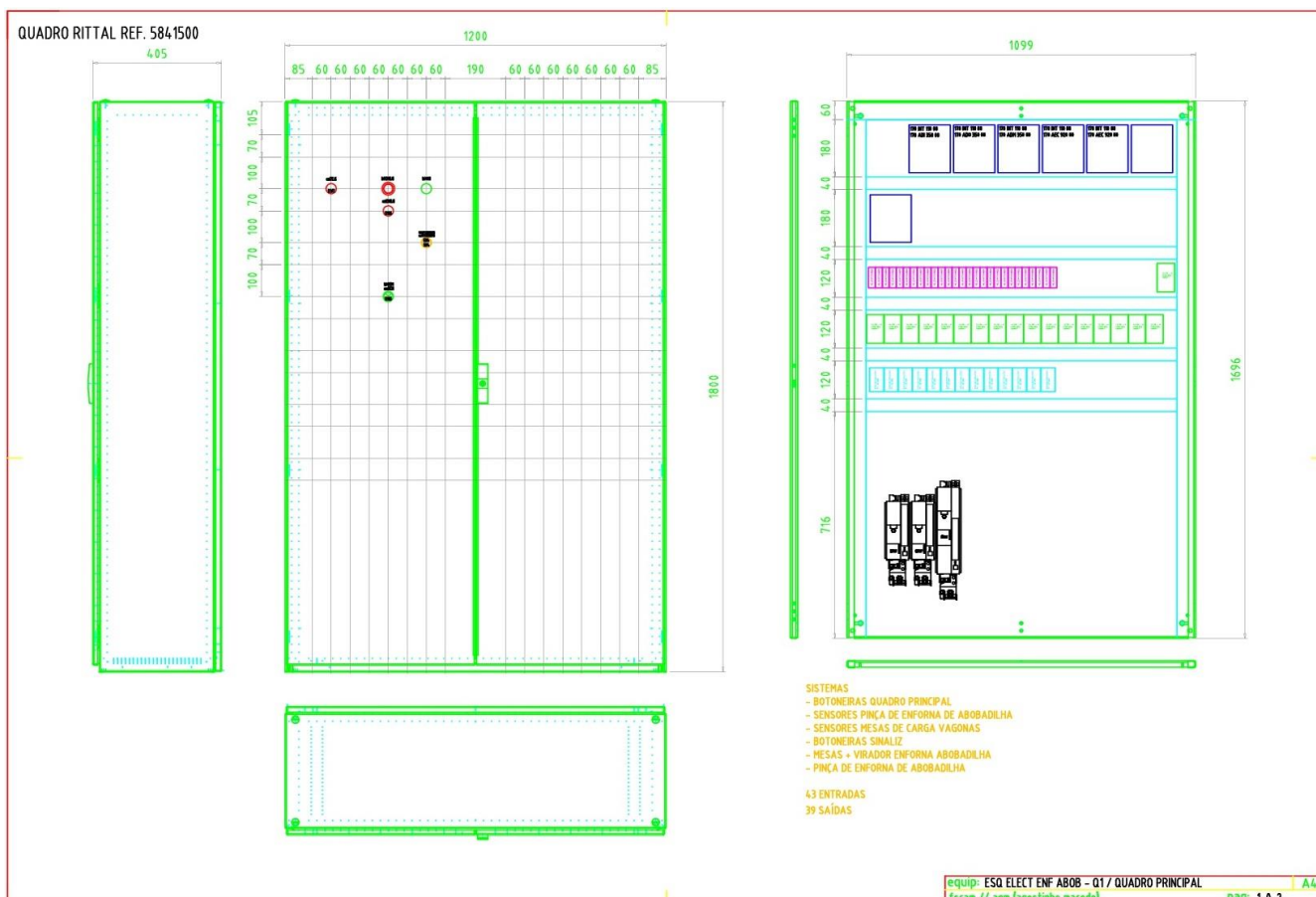
ANEXO II - ESQUEMA ELÉTRICO DA ENFORNA DE ABOBADILHA

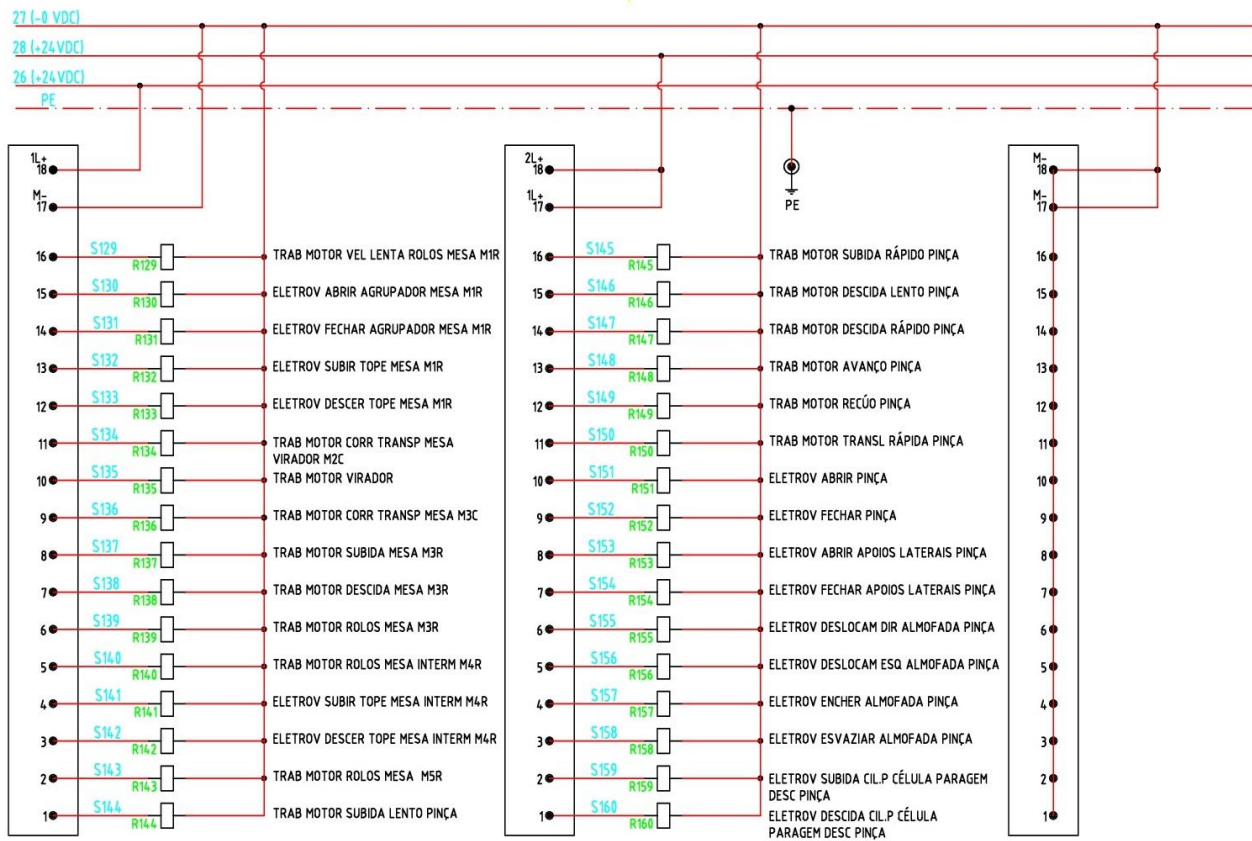
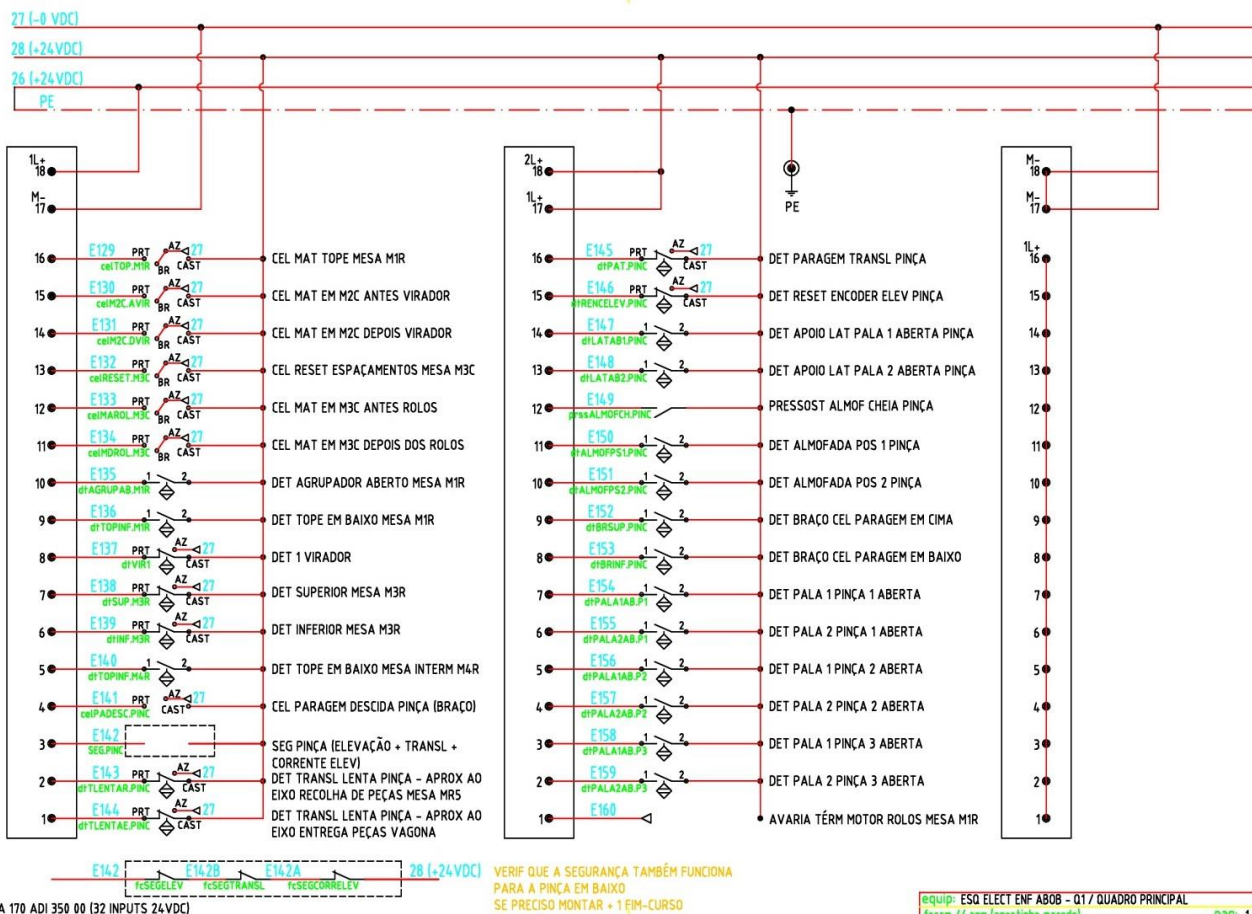
II.1 Listagem de entradas e saídas

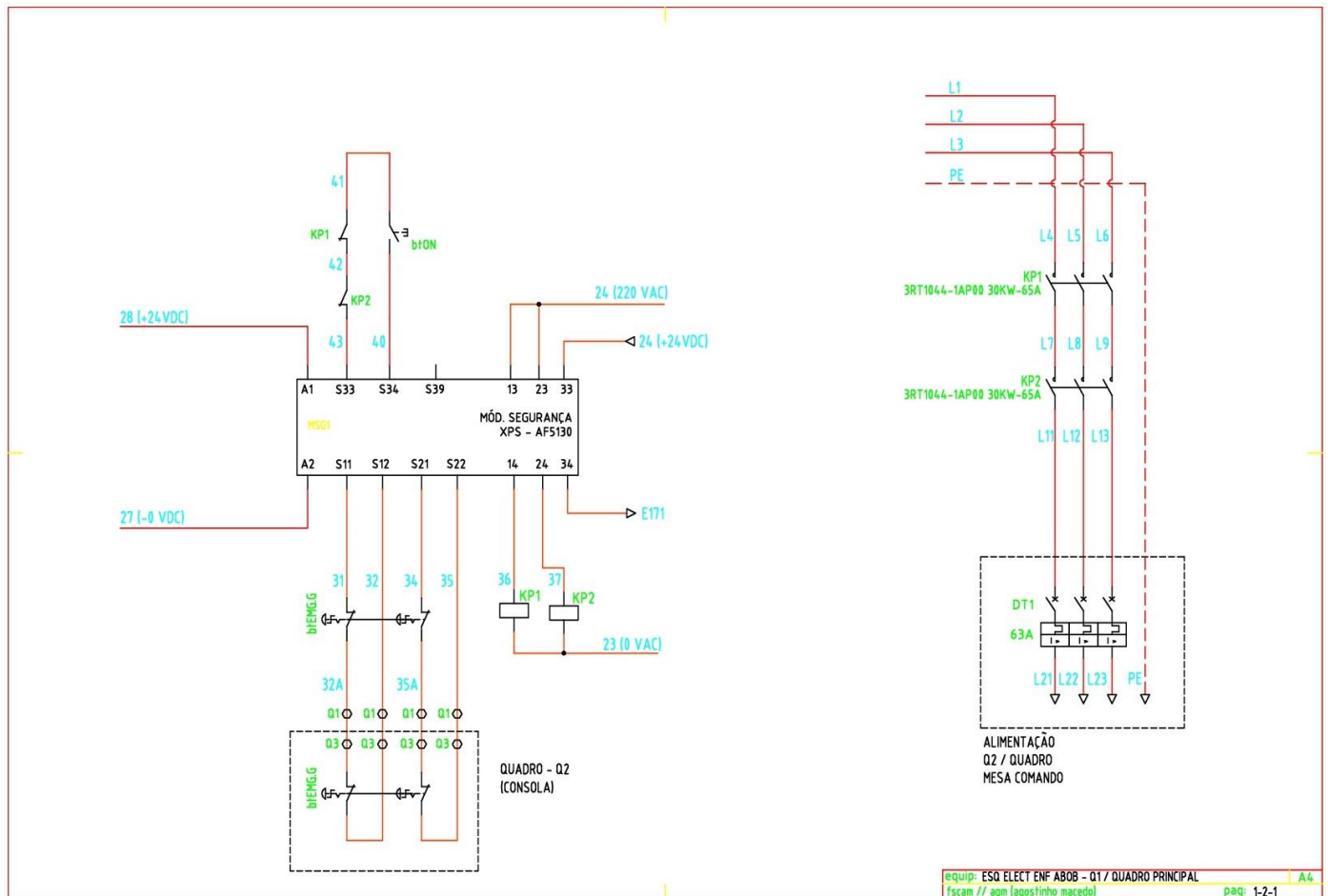
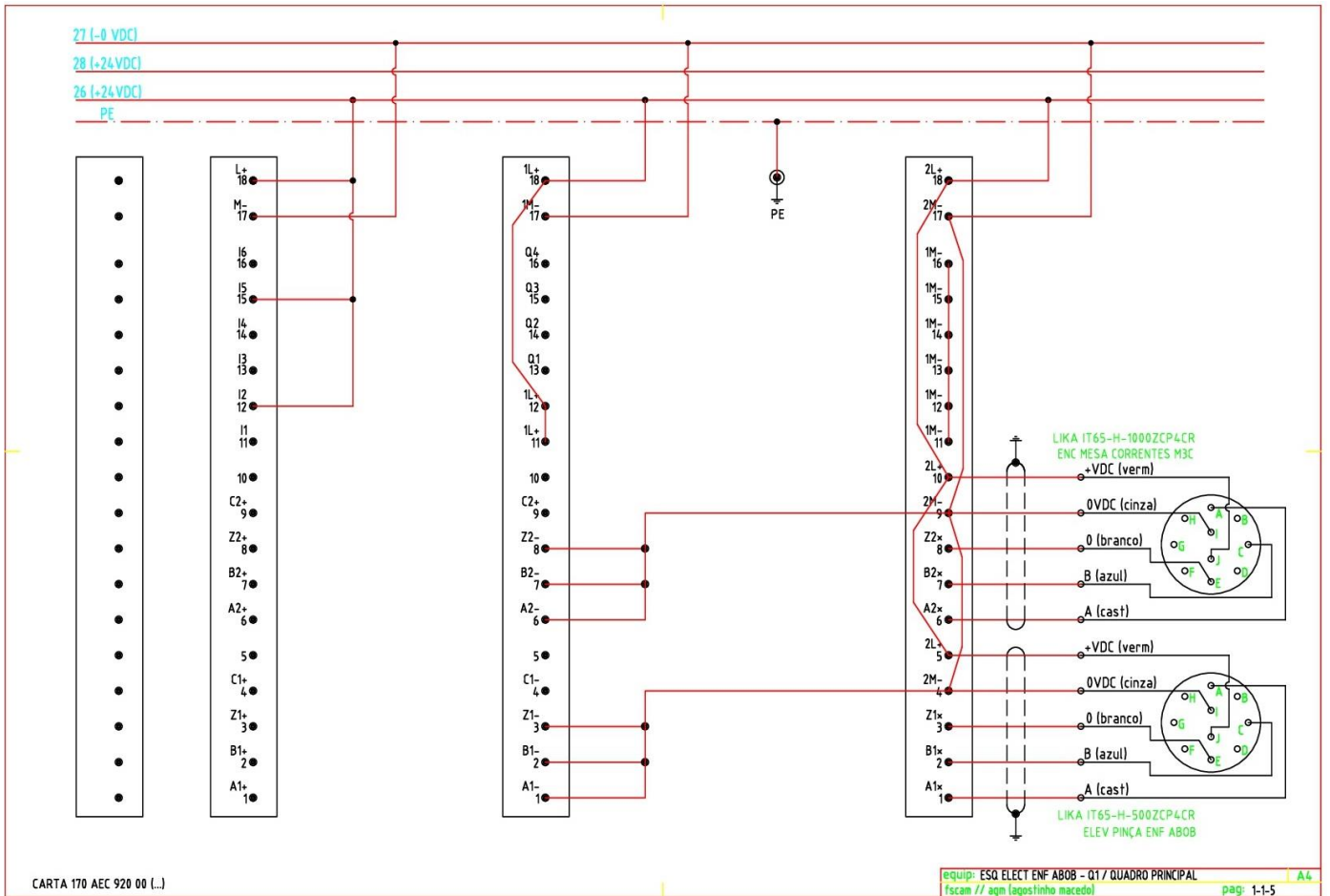
LISTAGEM ENTRADAS/SAÍDAS – PLC ENF ABOBADIHA (192.168.1.28)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

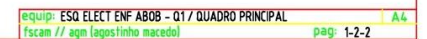
[illegible]

II.2 Quadro principal



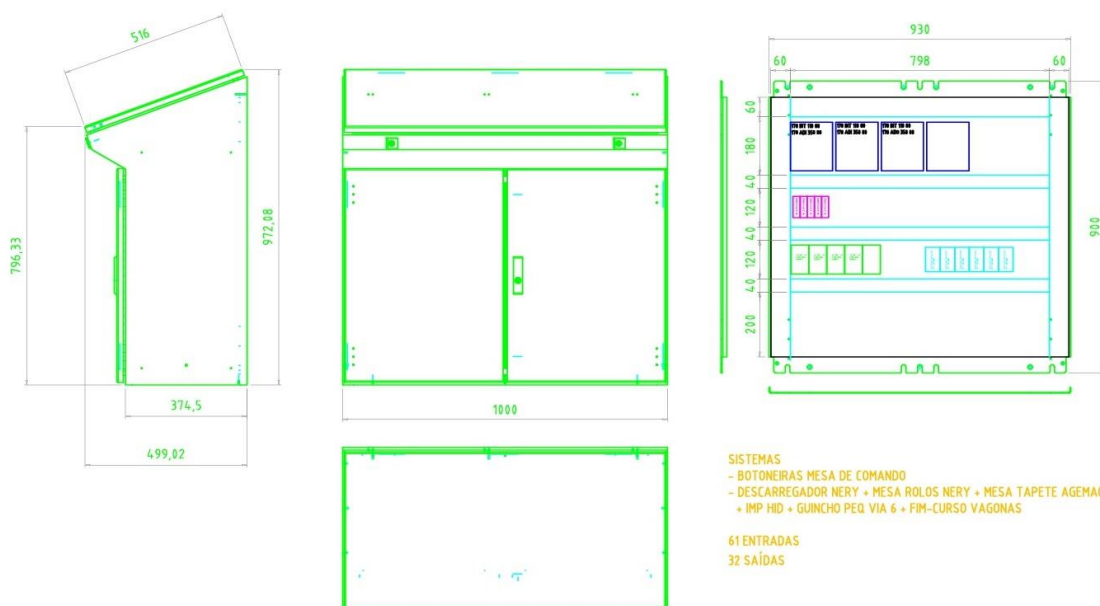






II.3 Quadro consola

QUADRO MESA DE COMANDO
RITTAL 6740500



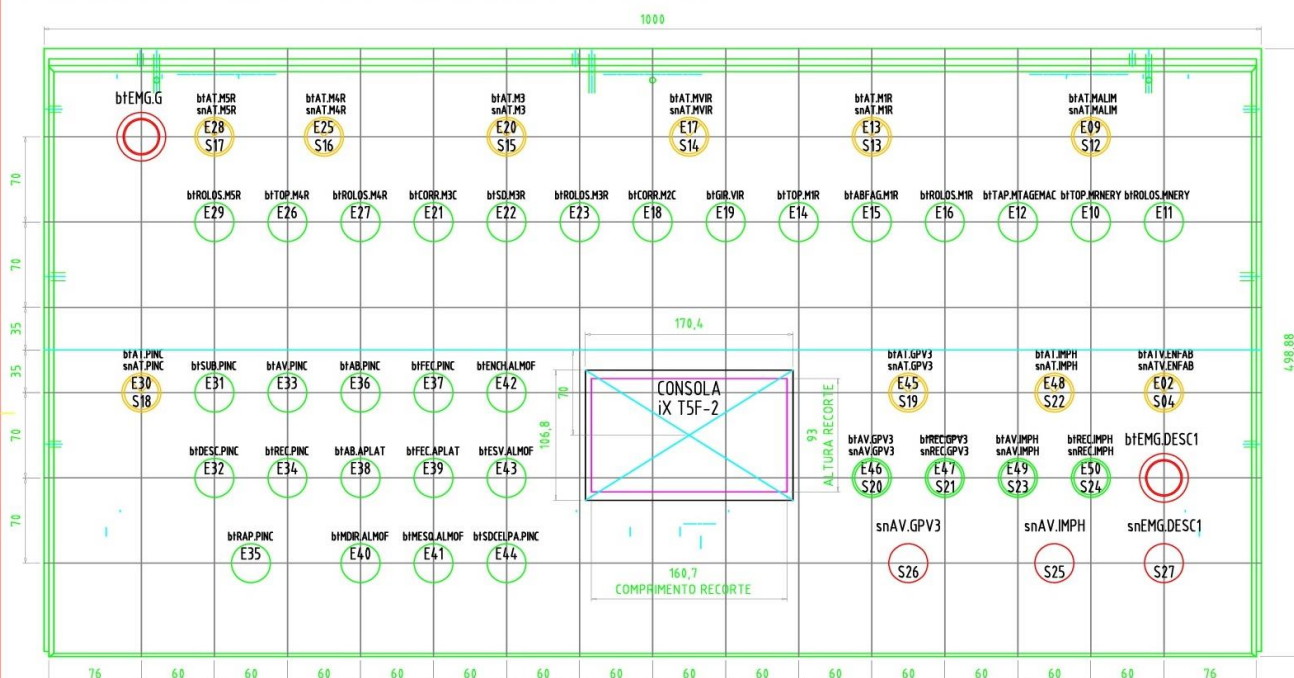
SISTEMAS
- BOTONEIRAS MESA DE COMANDO
- DESCARREGADOR NERY + MESA ROLOS NERY + MESA TAPETE AGEMAC
+ IMP HID + GUINCHO PEQ VIA 6 + FIM-CURSO VAGONAS

61 ENTRADAS
32 SAÍDAS

equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO CONSOLA
fscam // agm (agostinho macedo)



pag: 1-0-3

PORMENOR BOTONEIRAS E HMI - QUADRO MESA DE COMANDO



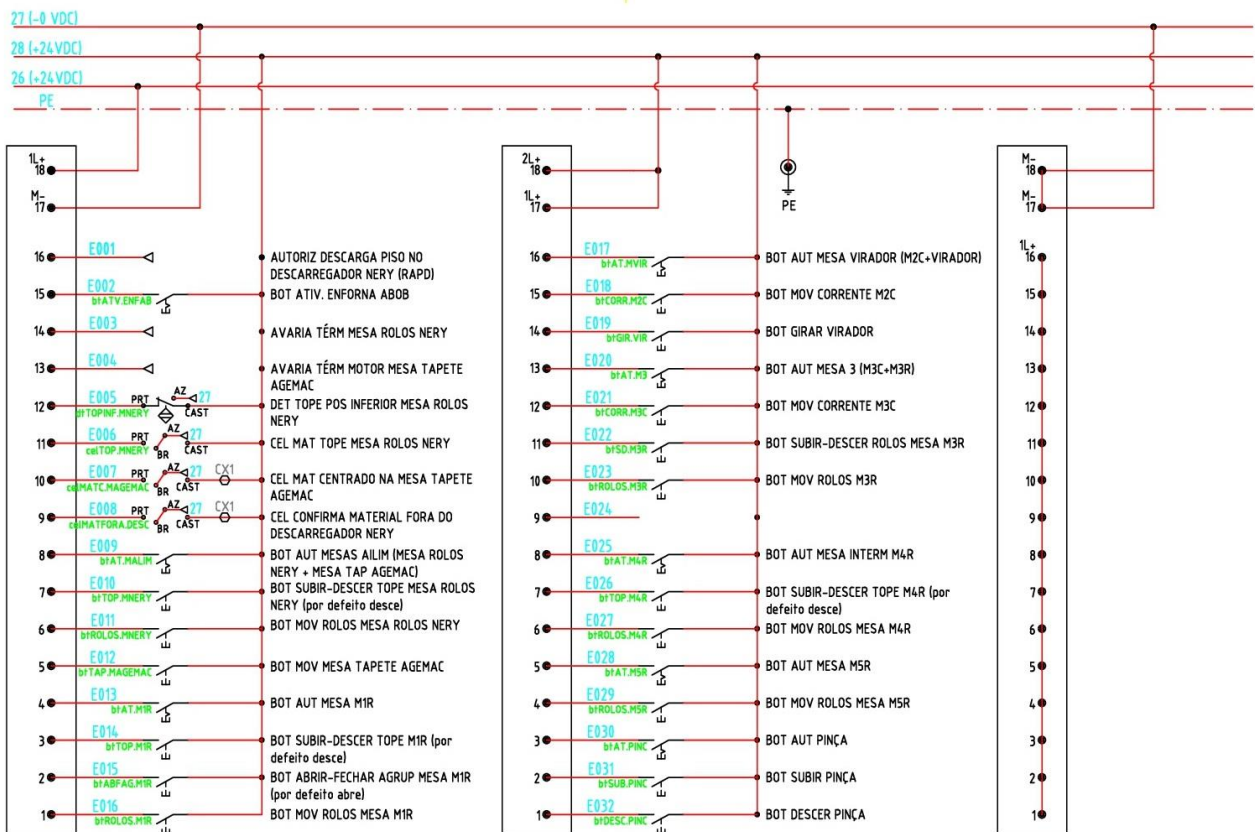
QUADRO NERY DESCARREGADOR

btEMG.DESC2 btON.DESC snEMG.DESC2

equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO CONSOLA
fscm // agm (agostinho macedo)

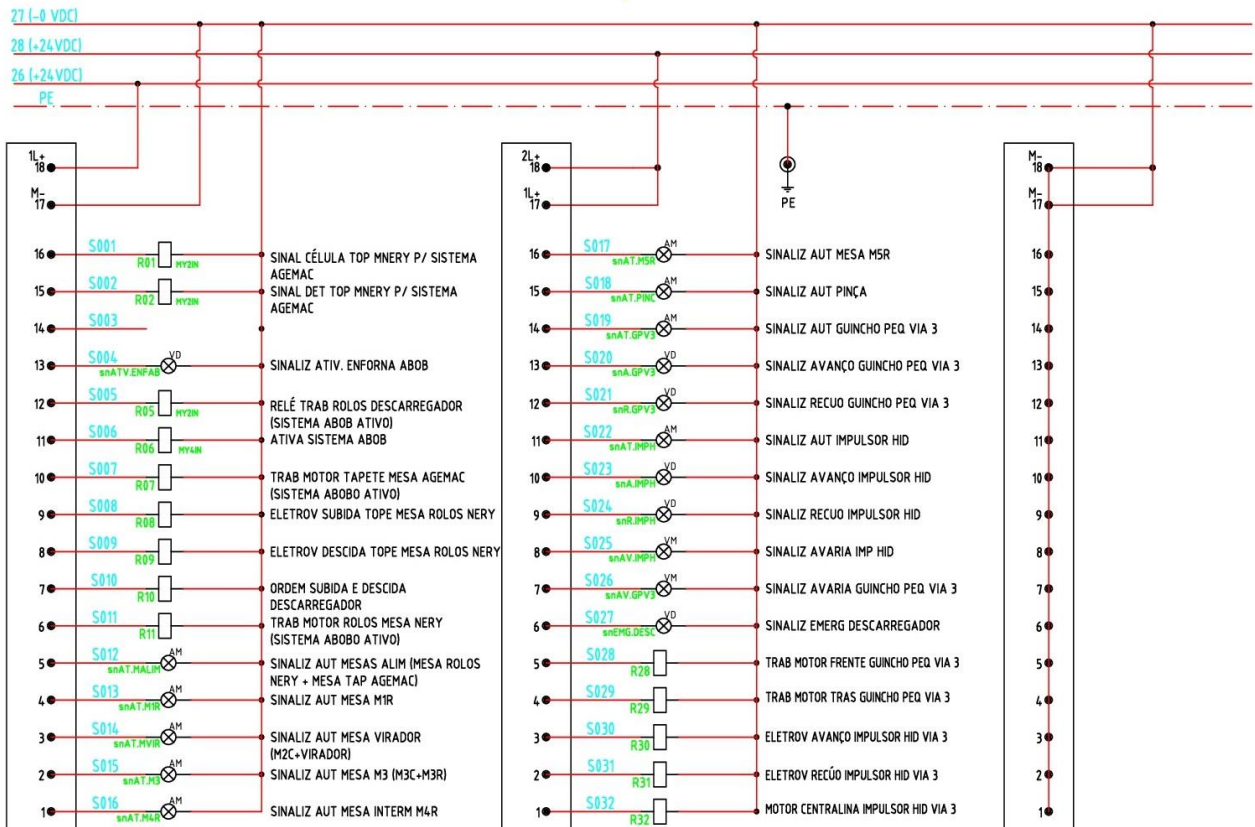
pag: 1-0-4



CARTA 170 ADI 350 00 (32 INPUTS 24VDC)

equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO MESA COMANDO
fscam // agm (agostinho macedo)

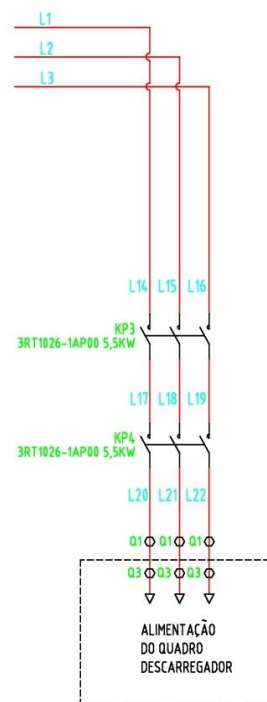
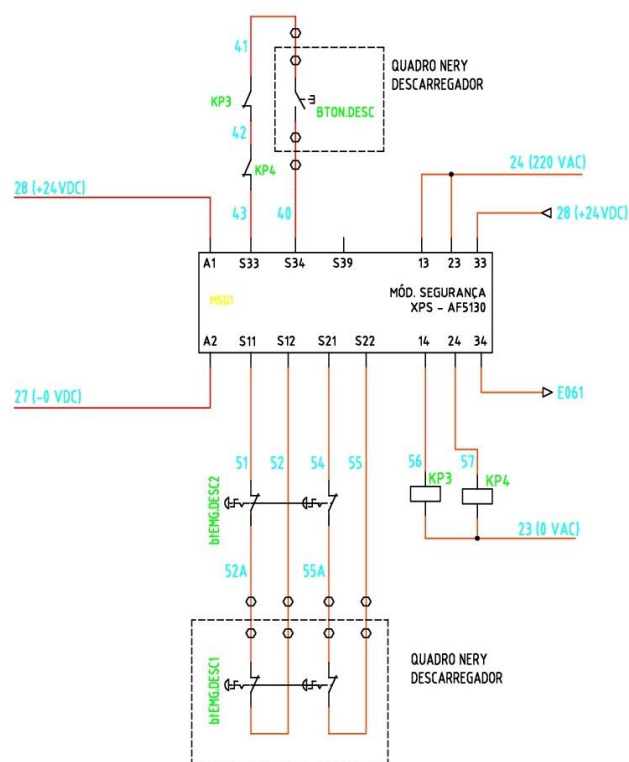
pag: 2-1-1



CARTA 170 ADD 350 00 (32 OUTPUTS 24VDC)

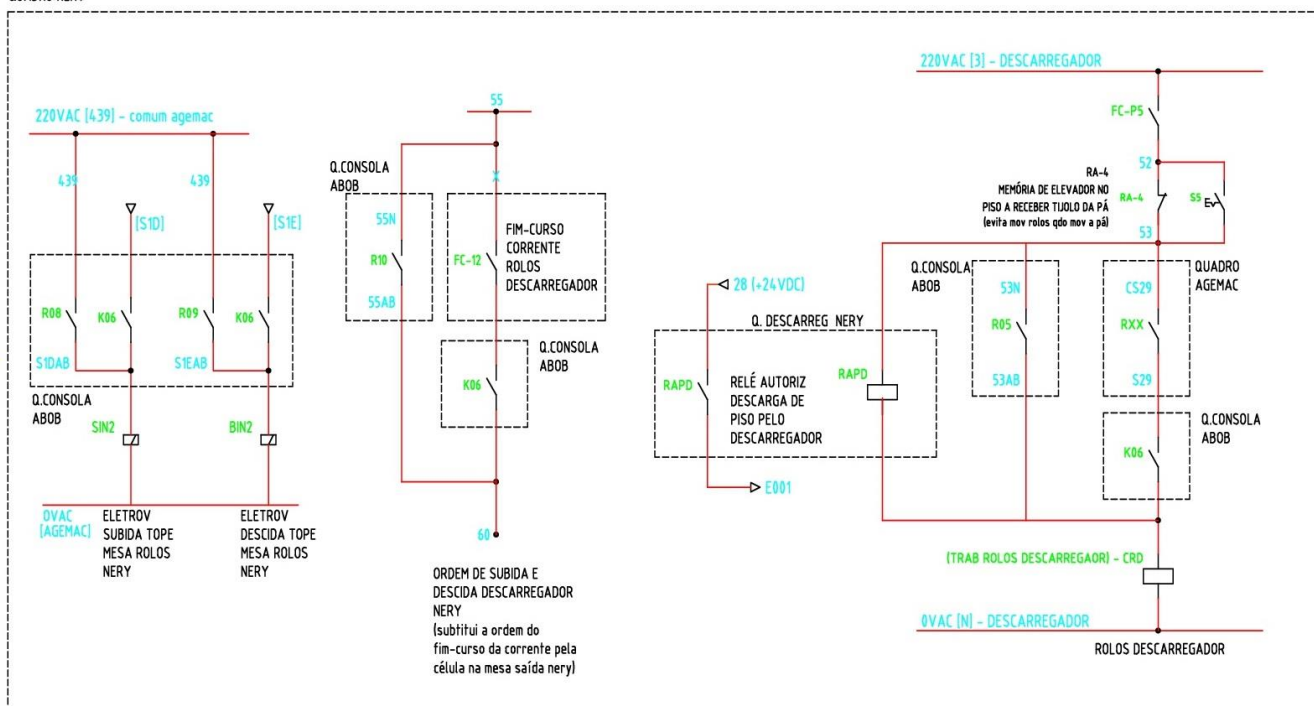
equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO MESA COMANDO
fscam // agm (agostinho macedo)

pag: 2-1-3

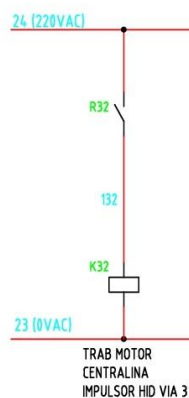
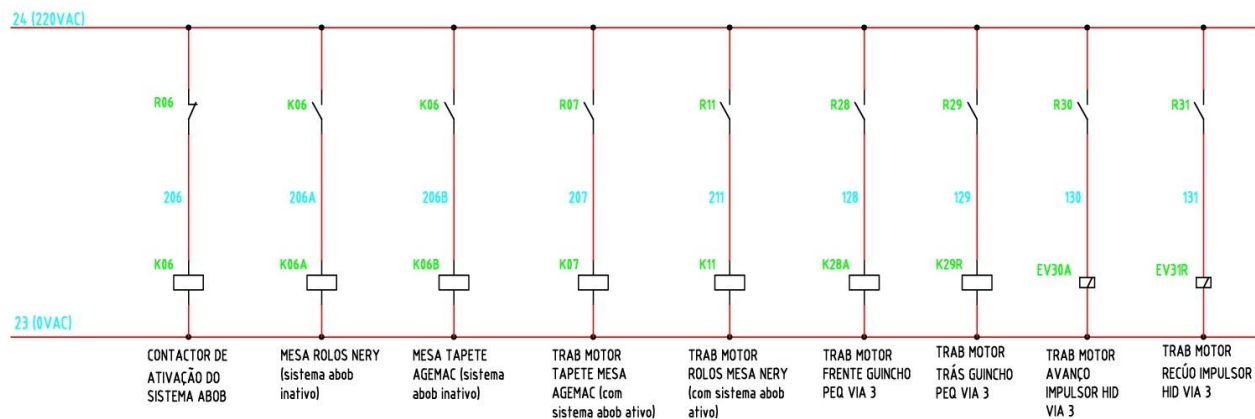


equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO MESA COMANDO
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 2-2-1 A4

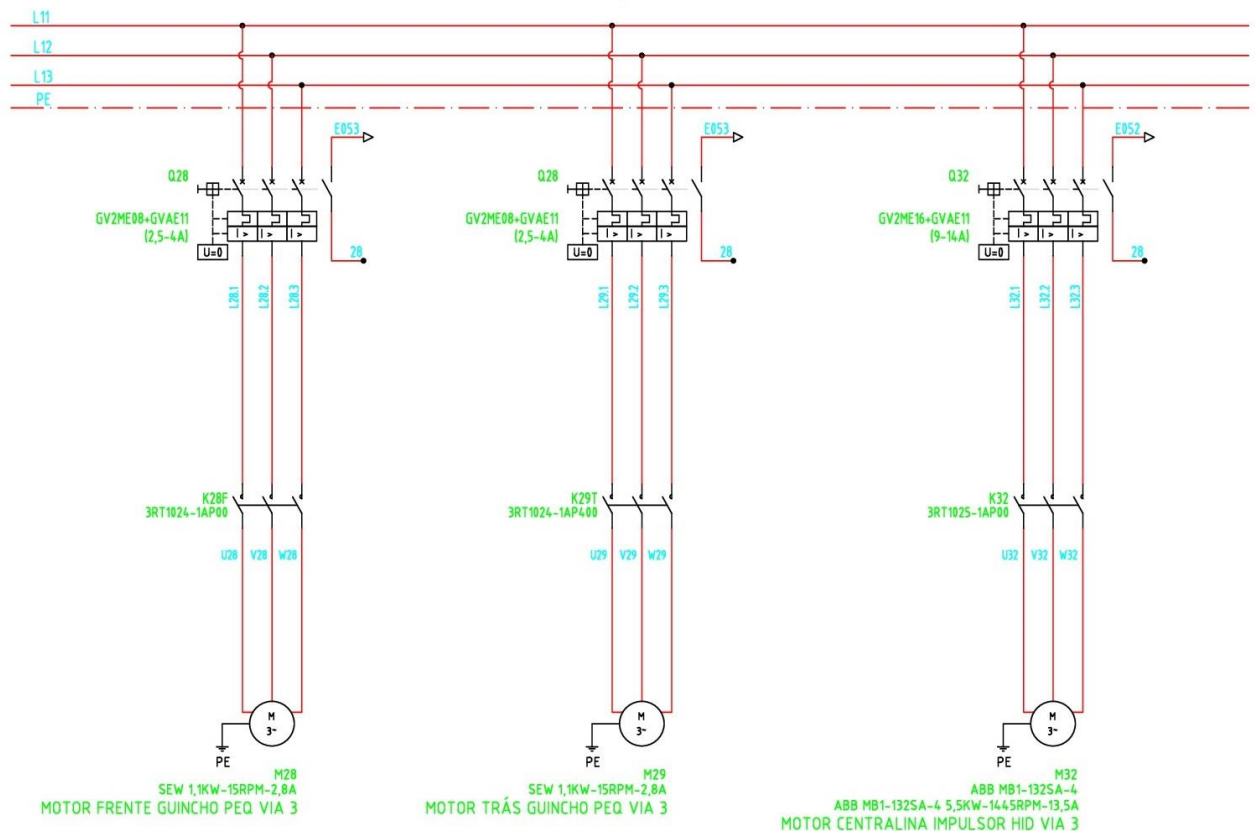
QUADRO NERY



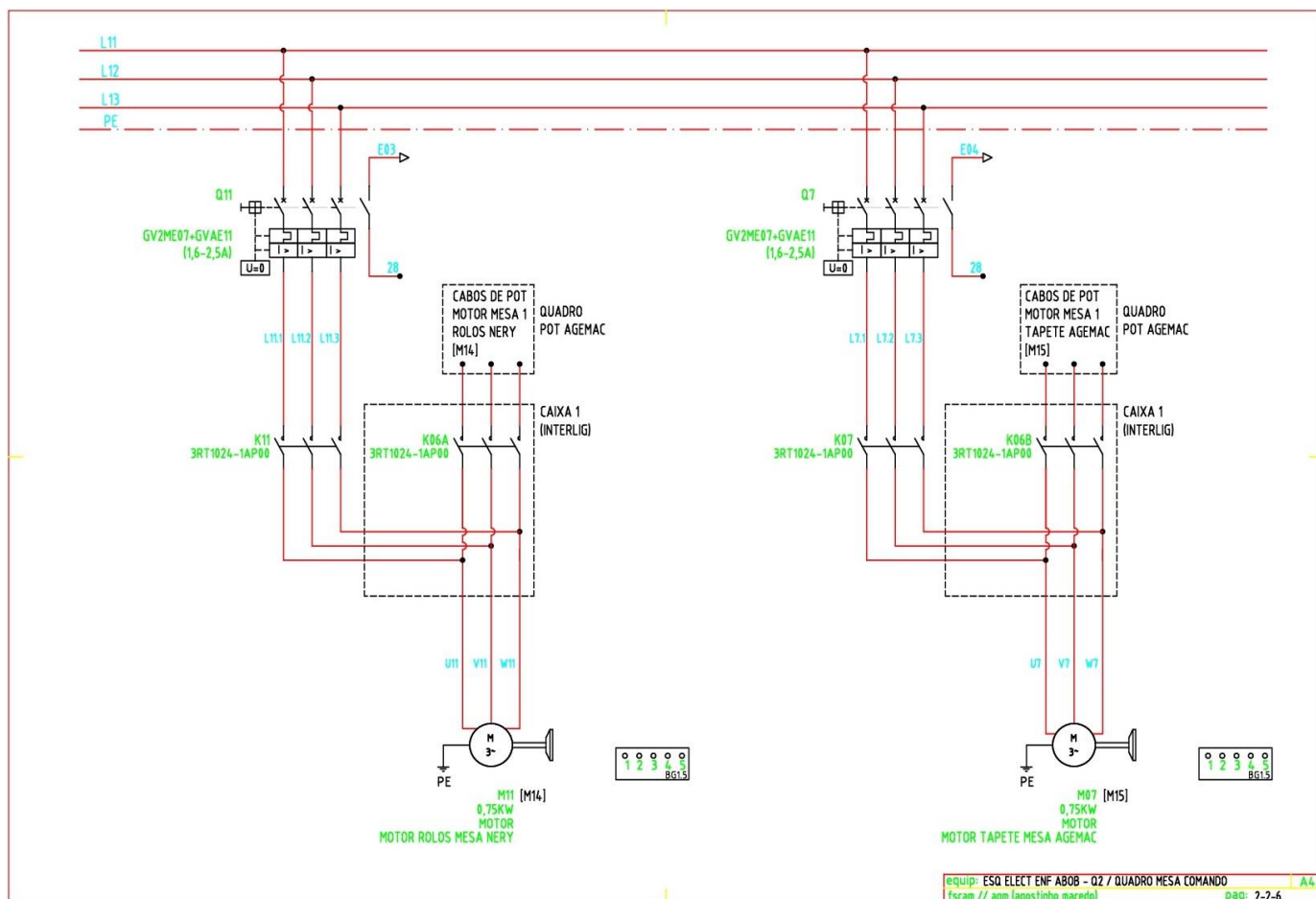
equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO MESA COMANDO
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 2-2-2 A4



equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO MESA COMANDO
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 2-2-4 A4



equip: ESQ ELECT ENF ABOB - Q2 / QUADRO MESA COMANDO
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 2-2-5 A4



ANEXO III - ESQUEMA ELÉTRICO DA DESENFORNA DE ABOBADILHA

Observação:

Como o sistema elétrico da desenfora de abobadilha é uma extensão do sistema da desenfora de tijolo, com a mesma unidade de processamento a ser aproveitada para o controlo das novas unidades, cartas de entradas e saídas dedicadas à desenfora de abobadilha, optou-se por colocar neste anexo apenas os esquemas elétricos referentes à desenfora de abobadilha, a qual faz parte do projeto apresentado na dissertação. Contudo, apresentam-se algumas partes do projeto da desenfora de tijolo, nomeadamente as que envolvem o funcionamento dos 2 sistemas de forma integrada, como é o caso do impulsor hidráulico 2 destinado a posicionar as vagonas do forno no eixo da desenfora de abobadilha.

III.1 Listagem de entradas e saídas

LISTAGEM ENTRADAS/SAÍDAS – PLC DESENF TUOLO + DESENF ABOBADIHA (192.168.1.26)																			
DESC										CODIGO PLC									
PLC										Q1.TU / PRINCIPAL	Q2.TU / BAMANA	Q3.TU / TRANSP. PALETES	Q4.TU / COMPACTADO R PALETES	Q5.ABOB / PRINCIPAL	Q6.ABOB / MESA	Q7.ABOB / COMANDO 1	Q8.ABOB / MESA	Q9.ABOB / COMANDO 2	Q10.ABOB / PINÇAS
										F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
FASE 1 - 2014 - DESENF TUOLO (CONVERSAO DE AGEMAC)																			
GERAL																			
+	E	-	BIN	24VDC	BOT GERAL DE COMANDO														btGCM
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ GERAL DE COMANDO														snGCM
					BOT EMERG GERAL - CORTE DE POTENCIA COM MOD SEG														btEMG_G1/2
+	E	-	BIN	24VDC	EMERG GERAL (MOD SEG)														
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ EMERG GERAL														snEMG_G
				220VAC	CONTACTORS POTENCIA - SEG														KP1+KP2
					BOT ON														btON
GERAL - DESENF TUOLO																			
+	E	-	BIN	24VDC	AVARIA TERM MOTOR PINÇAS DESENF														avTE.PD
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ AVARIA TERM MOTORES DESENF TUOLO														snTERM
+	E	-	BIN	24VDC	BOT SEL VIA A DESENF (VIA 5 / VIA 6)														btVIA.DESENF
+	E	-	BIN	MY2IN	DET DESC PINÇAS DESENF ALTURA INTERM														dtPAD.ESC.AI.PD
+	E	-	BIN	24VDC	CEL INFERIOR PRESENÇA MAT SOBRE VAG														ceINFMAT.VG
INTERLIG																			
+	S	-	BIN	24VDC	SINAL TRAB MAQ CINTAR HORIZ														SINALTB_MCH
+	E	-	BIN	24VDC	FIM-CICLO MAQ CINTAR HORIZ														FIMC_MCH
+	E	-	BIN	24VDC	MAQUINAS CINTAR (H/V) EM POS SEG														MCT_POS_SEG
+	E	-	BIN	24VDC	AVARIA TERM MOTOR TRANSP PALETES - M2														avTE.TP
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MAQ CINTAR HORIZ ACTIVADA														btATV.MCH
					SINALIZ MAQ CINTAR HORIZ ACTIVADA														snATV.MCH
+	S	-	BIN	24VDC	SINAL TRAB MAQ CINTAR VERT														SINALTB_MCV
+	E	-	BIN	24VDC	FIM-CICLO MAQ CINTAR VERT														FIMC_MCV
+	E	-	BIN	24VDC	AVARIA TERM MOTOR TRANSP HID - M3														avTE.TH
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MAQ CINTAR VERT ACTIVADA														btATV.MCV
					SINALIZ MAQ CINTAR VERT ACTIVADA														snATV.MCV
TRANSP PALETES - TP																			
+	E	-	BIN	24VDC	BOT BLOQUEIO - TP														btBLQ.TP
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ BLOQUEIO - TP														snBLQ.TP
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MOV FRENTE - TP														btFR.TP
+	S	-	BIN	24VDC	TRAB MOTOR MOV FRENTE TRANSP - TP														otTP
+	E	-	BIN	24VDC	DET PARAGEM TRANSP														dtPA.TP
+	E	-	BIN	24VDC	CEL MAT DEP NO TRANSP - ALINHAM PINÇAS														ceMAT.TP
+	E	-	BIN	24VDC	CEL MAT DEP NO TRANSP PAL ULTIMA POS														ceMAT.UPOS.TP
+	E	-	BIN	24VDC	CEL BARREIRA SEG EMPILHADOR														ceSEGEMP
IMPULSOR HID 1 - POSIC VAGONAS NO EIXO DA DESENF DE TUOLO																			
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MAN-AUT IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														btAT_IMPH1
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ MAN-AUT IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														snAT_IMPH1
+	E	-	BIN	24VDC	BOT AVANÇO IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														btAVA_IMPH1
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ AVANÇO IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														snAVA_IMPH1
+	E	-	BIN	24VDC	BOT RECUO IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														btREC_IMPH1
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ RECUO IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														snREC_IMPH1
+	E	-	BIN	24VDC	DET POS FRENTE IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														dtFR_IMPH1
+	E	-	BIN	24VDC	DET POS TRAS IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														dtTR_IMPH1
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV AVANÇO IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														evAVA_IMPH1
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV RECUO IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														evREC_IMPH1
+	S	-	BIN	24CVD	MOTOR CENTRALINA IMPULSOR HID 1 - DESENF TU														mtc_IMPH1
+	E	-	BIN	24VDC	FIM-CURSO PRESENÇA VAG ANTES DESENF TU														fcvAGADtj
PINÇAS DESENF - PD																			
+	E	-	BIN	24VDC	DET PINÇAS EM POS RECOLHA MAT - ROT 90º														dtROT90.PD
+	E	-	BIN	24VDC	DET PINÇAS EM POS NORMAL - ROT 0º														dtROT0.PD
+	E	-	BIN	24VDC	FIM-CURSO PINÇAS BERTAS														fcAB.PD
+	E	-	BIN	24VDC	FIM-CURSO PINÇAS FECHADAS														fcFEC.PD
+	E	-	BIN	24VDC	DET PINÇAS JUNTAS A 1500 - POS INTERM														dt1500.PD
+	E	-	BIN	24VDC	DET PINÇAS SEPARADAS														dtSEP.PD
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL ALTA + SEG SUP. PINÇAS DESENF														dtTASEGSUP.PD
+	E	-	BIN		RESERVA														RES
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL LENTA APROX AO EIXO 3 VAG - PINÇAS DESENF [E?]														dtTL.E3VAG.PD
					RESERVA														RES
+	E	-	BIN	?	24VDC	DET SEG TRANSL PINÇAS DESENF (AV-RECUO)													dtSEGT.PD
+	E	-	BIN	24VDC	DET SEG POS INFERIOR PINÇAS DESENF														dtSEGINF.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT AUTOMAT PINÇAS DESENF														btAT.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT ABRIR PINÇAS														btAB.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT FECHAR PINÇAS														btFC.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT SUBIR PINÇAS														btSB.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT DESCER PINÇAS														btDC.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT AVANÇO TRANSL PINÇAS														btRC.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT RECUO TRANSL PINÇAS														btAV.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT TRANSL VEL RÁPIDA														btRAP.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT ROT 0º														btROT90.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT ROT 90º														btROT0.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT JUNTAR PINÇAS A 1440 P/ DEP TRANSP														btJINTERM.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT SEPARAR PINÇAS														btSEP.PD
+	E	-	BIN	24VDC	BOT JUNTAR PINÇAS														btJUNT.PD
+	S	-	BIN	24CVD	MOTOR BOMBA HID - PD														bhPD

LISTAGEM ENTRADAS/SÁIDAS – PLC DESENF TIJOLO + DESENF ABOBADIHA (192.168.1.26)																			
DESC										CODIGO PLC									
PLC																			
										Q1.TU / PRINCIPAL	Q2.TU / BANANA	Q3.TU / TRANSP. PALETES	Q4.TU / COMPACTADO R PALETES	Q5.ABOB / PRINCIPAL	Q6.ABOB / MESA COMANDO 1	Q7.ABOB / MESA COMANDO 2	Q8.ABOB / PINÇAS		
										F S	F S	F S	F S	F S	F S	F S	F S		
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV SUBIR PINÇAS (IH-1)				S00 / IH1-S	17								evSUB.PD	
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV DESCER PINÇAS (IH-1)				S01 / IH1-D	18								evDC.PD	
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV FECHAR PINÇAS (IH-2)				S02 / IH2-F	19								evFC.PD	
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV ABRIR PINÇAS (IH-2)				S03 / IH2-A	20								evAB.PD	
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV CAUDAL BOMBA 1 (SIH1, IH2)				S04 / IH5-A	21								evCB1MAXP.PD	
					MAX PRESSÃO														
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV CAUDAL BOMBA 1 (BIH1,IH7,IH8)				S05 / IH5-R	22								evCB1MEDP.PD	
					MEDIA PRESSÃO														
+	S	-	BIN	24CVD	ELECTROV SEPARAR PINÇAS				S08 / IH7-S	23								evSEP.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV JUNTAR PINÇAS				S09 / IH7-J	24								evJT.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV RODAR PINÇAS 90º				S0A / IH8-90	25								evROT90.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV RODAR PINÇAS 0º				S0B / IH8-0	26								evROT0.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV CAUDAL BOMBA 2 (SIH1,CIH2) A MAX PRESSÃO - SOMA CAUDAL SUBIR E FECHAR				S0C / IH10-A	27								evCB2.MAXP.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV PRESSÃO LINHA IH11 - SOMA CAUDAL TRANSL				S0D / IH10-R	28								evCDTRANSL.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV RECUO TRANSL CARRO				S0E / IH11A	29								evRC.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV AVANÇO TRANSL CARRO				S0F / IH11R	30								evAV.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV TRANSL RÁPIDA				S10 / IH12	31								evTRAP.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ TRAB AUTOMAT PINÇAS DESENF					32								snAT.PD	
COMPACTADOR PALETES - CP																			
+	E	-	BIN	24VDC	BOT BLOQUEIO - CP					51			33					btBLQ_CP	
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ BLOQUEIO - CP													snBLQ_CP	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT FECHAR - CP					52								btFC_CP	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT ABRIR - CP					53								btAB_CP	
+	E	-	BIN	24VDC	PRESSOSTATO - CP					54								prss_CP	
+	E	-	BIN	24VDC	DETECTORES POS ABERTO - CP					55								dtAB_CP	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV FECHAR CP								34					evFC_CP	
+	S	-	BIN	24VDC	ELECTROV ABRIR CP								35					evAB_CP	
+	E	-	BIN	24VDC	CEL PRESENÇA MAT EM POS DE TRAB					56								cePMAT_CP	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MOV EM AUT AO EIXO 3 PINÇAS DESENF					57								btMOVAT_E3_PD	
+	E	-	BIN	24VDC	CEL PRESENÇA MAT SOBRE A VAG - POS SUP				? [E2B]	58								celPMATSUP.VG	
+	E	-	BIN	24VDC	DET PAR DESC PINÇAS DESENF - ALT VAG				[E2B / F35]	59								dtPDESC.LASTVG.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET ALTURA ENTREGA MAT AO TRANSP PALETES				[E24 / F33]	60								dtMAT_TP.PD	
+	E	-	BIN		RESERVA					61									
+	E	-	BIN		RESERVA					62									
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL LENTA EIXO (E3) VAG PINÇAS DESENF				[E?]	63								dtTLE3VAG.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL LENTA EIXO (E2) VAG PINÇAS DESENF				[E?]	63								dtTLE2VAG.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET POS EIXOS DESENF (0-A-1-2-3)				[E10-F0]	65								dtPOSE.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL LENTA EIXO (A) ESPERA AO TRANSP PALETES					66								dtTLEA.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET PINÇAS JUNTAS A 1440					67								dtSEP1440.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL LENTA EIXO (E1) VAG PINÇAS DESENF				[E?]	69								dtTLE1VAG.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET SEG EM ALTURA TRANSP PAL COM MATERIAL					70								dtSEG.TPMAT.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	DET TRANSL LENTA EIXO (E0) COMP PALETES PINÇAS DESENF					71								dtTLE0.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MOV AUT EIXO 1						12							btMOVAT.E1.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ MOV AUT EIXO 1							36						snMOVAT.E1.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MOV AUT EIXO 2						36							btMOVAT.E2.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ MOV AUT EIXO 2							37						snMOVAT.E2.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MOV AUT EIXO 3						57							btMOVAT.E3.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ MOV AUT EIXO 3							38						snMOVAT.E3.PD	
+	E	-	BIN	24VDC	BOT MOV AUT RETORNO						68							btMOVAT.RET.PD	
+	S	-	BIN	24VDC	SINALIZ MOV AUT RETORNO							39						snMOVAT.RET.PD	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CELULA PARAGEM VAGONA CENTRADA				72								celIPVG.CENT	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CELULA PARAGEM SEGURANCA VAGONA				73								celIPVG.SEG	
+	S	-	BIN	24VDC	RELÉ SEG GUINCHO - IMPEDE AVANÇO VAG CENTRADA VIA 6							40							
FASE 2 - 2015 - EXPANSÃO DESENF ABOB																			
GERAL																			
+	-	-	BIN	380VAC	BOT GERAL DE COMANDO													btGCMAB	
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ GERAL DE COMANDO									129			snGCMAB	
					24VDC	BOT EMERG GERAL - CORTE DE POTENCIA COM MOD SEG												btEMG.GAB	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	EMERG GERAL (MOD SEG)									129			EMG_MS.EGAB	
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ EMERG GERAL ABOBADIHA												snEMG.GAB	
					220VAC	CONTACTORES POTENCIA - SEG												KP1-KP2	
					MSEG	BOT ON (ativa sistema após entrada da emerg geral)												btONAB	
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ TÉRMICO GERAL												snTE.GAB	
ESQ ELECT DESENF ABOB - Q5 / QUADRO PRINCIPAL																			
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PARAGEM DESCIDA PINÇA DESENF ABOB (BRAÇO) - PDA									130			celPADESC.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	SEG PINÇA DESENF (ELEVÇÃO + TRANSL + CORRENTE ELEV)									131			SEG.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET TRANSL LENTA PINÇA DESENF ABOB - APROX EIXO RECOLHA DE PEÇAS									132			dtTLENTAR.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET TRANSL LENTA PINÇA DESENF AB - APROX AO EIXO ENTREGA PEÇAS VAG									133			dtTLENTAE.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	RESERVA : DET TRANSL LENTA PINÇA DESENF AB - APROX AO EIXO X									134			dtTLENTAX.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET PARAGEM TRANSL PINÇA DESENF ABOB - PDA									135			dtPAT.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET RESET ENCODER ELEV PINÇA DESENF AB - PDA									136			dtRESETLEV.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	PRESSOST ALMOF CHEIA PINÇA DESENF ABOB - PDA									137			prssALMOFCH.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET PINÇA 1 DESENF ABOB ABERTA									138			dtP1AB.PDA	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET PINÇA 2 DESENF ABOB ABERTA									139			dtP2AB.PDA	

LISTAGEM ENTRADAS/SAÍDAS – PLC DESENF TIJOLO + DESENF ABOBADIHA (192.168.1.26)																			
DESC										CODIGO PLC									
PLC																			
										Q1.TU / PRINCIPAL	Q2.TU / BANANA	Q3.TU / TRANSP. PALETES	Q4.TU / COMPACTADO R PALETES	Q5.ABOB / PRINCIPAL	Q6.ABOB / MESA COMANDO 1	Q7.ABOB / MESA COMANDO 2	Q8.ABOB / PINÇAS		
										E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET PINÇA 3 DESENF ABOB ABERTA													dtP3AB.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT NA ZONA DESCARGA PINÇAS DESENF													ceIMATZDESC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT NA ENTRADA MESA M3C													ceIMATE.M3
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT ACUMULADO PARA FIADA ANTES TOPE M3C													ceIMATFIADA.M3
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PRESENÇA MAT NA ENTRADA DO TOPE M3C													ceIMATE.TM3
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PRESENÇA MAT EM BAIXO DO TOPE M3C													ceIMATB.TM3
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT NA SAÍDA TOPE - TM3													ceIMATS.TM3
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT FINAL MESA M4													ceIMATF.M4
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT MESA MSC ANTES DOS ROLOS													ceIMAT.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET POS SUP TOPE HORIZ MESA 3 - TM3H													dtSUP.TM3H
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET POS INF TOPE HORIZ MESA 3 - TM3H													dtINF.TM3H
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET POS SUP TOPE VERT MESA 3 - TM3V													dtSUP.TM3V
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET POS INF TOPE VERT MESA 3 - TM3V													dtINF.TM3V
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	? DET IMPULSOS MESA 4 - M4													dtIMP.M4
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO SEG TOPE MESA 5 - TM5													fcSEG.TM5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PROXIMIDADE MAT TOPE MESA 5													ceIPROXMAT.TM5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET POS 1 TOPE MESA 5													dtPOS1.TM5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET POS 2 TOPE MESA 5													dtPOS2.TM5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET IMPULSOS TOPE MESA 5													dtIMP.TM5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO SUP MESA ROLOS M5R													fcSUP.M5R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO INF MESA ROLOS M5R													fcINF.M5R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT INICIO MESA ROLOS M6R													ceIMATIN.M6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT MESA ROLOS M6R													ceIMAT.M6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL MAT FINAL MESA ROLOS M6R													ceIMATFIN.M6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	RESERVA													RESERVA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR CORRENTES MESA M1C													avCORR.M1C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR CORRENTES MESA M2C													avCORR.M2C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR CORRENTES MESA M3C													avCORR.M3C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR CORRENTES MESA M4C													avCORR.M4C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR CORRENTES MESA M5C													avCORR.M5C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR ROLOS MESA M5R													avROLOS.M5R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR ELEV MESA M5R													avELEV.M5R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR ROLOS MESA M6R													avROLOS.M6R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR ELEV PINÇA DESENF ABOB - PDA													avELEV.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA MOTOR TRANSL PINÇA DESENF ABOB - PDA													avTRANSL.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR TOPE MESA 5 - TM5													avTOP.M5
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR SUBIDA LENTO PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtSUBL.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR SUBIDA RÁPIDO PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtSUBR.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR DESCIDA LENTO PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtDESCL.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR DESCIDA RÁPIDO PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtDESCR.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtAV.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR RECUO PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtREC.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR TRANSL RÁPIDA PINÇA DESENF ABOB - PDA													mtTRAP.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV ABRIR PINÇAS DESENF ABOB - PDA													evAB.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV FECHAR PINÇAS DESENF ABOB - PDA													evFEC.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV ENCHER ALMOFADA PINÇAS DESENF ABOB - PDA													evENCALM.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV ESVAZIAR ALMOFADA PINÇAS DESENF ABOB - PDA													evESVALM.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR CORRENTES MESA M1C													mtCORR.M1C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR CORRENTES MESA M2C													mtCORR.M2C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR CORRENTES MESA M3C													mtCORR.M3C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV SUBIR TOPE HORIZ MESA 3													evSUB.THM3C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV DESCER TOPE HORIZ MESA 3													evDESC.THM3C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV SUBIR TOPE VERT MESA 3													evSUB.TVM3C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV DESCER TOPE VERT MESA 3													evDESC.TVM3C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR CORRENTES MESA M4C													mtCORR.M4C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR CORRENTES MESA M5C													mtCORR.M5C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR SUBIR MESA ROLOS M5R													mtROLS.M5R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR DESCER MESA ROLOS M5R													mtROLD.M5R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO ROLOS M5R													mtROLAV.M5R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR RECUO ROLOS M5R													mtROLREC.M5R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO ROLOS M6R													mtROLAV.M6R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR RECUO ROLOS M6R													mtROLREC.M6R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB AVANÇO TOPE MESA 5 - TM5													mtAV.TM5
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB RECUO TOPE MESA 5 - TM5													mtREC.TM5
ESQ ELECT DESENF ABOB - Q6 / QUADRO MESA COMANDO 1																			
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT AUT MESAS CORRENTES M1C E M2C									241				btAT.M1C-2C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ AUT MESAS CORRENTES M1C E M2C										241			snAT.M1C-M2C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV CORRENTES MESA M1C										242			btCORR.M1C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV CORRENTES MESA M2C										243			btCORR.M2C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT AUT MESA CORRENTES M3C										244			btAT.M3C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ AUT MESA CORRENTES M3C											242		snAT.M4C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV CORRENTES M3C											245		btCORR.M3C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV TOPE VERTICAL MESA M3C											246		btTOPV.M3C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV TOPE HORIZ MESA M3C											247		btTOPH.M3C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT AUT MESA CORRENTES M4C											248		btAT.M4C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ AUT MESA CORRENTES M4C											243		snAT.M4C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV CORRENTES MESA M4C											249		btCORR.M4C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT AUT MESA M5 (CORRENTES + ELEV ROLOS + ROLOS)											250		btAT.M5
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ AUT MESA M5 (CORRENTES + ELEV ROLOS + ROLOS + TOPE)											244		snAT.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT MOV CORRENTES MESA M5											251		btCORR.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT ROLOS AVANÇO MESA M5											252		btROLA.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT ROLOS RECUO MESA M5											253		btROLR.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT SUBIR MESA M5 (ROLOS)											254		btSUB.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT DESCER MESA M5 (ROLOS)											255		btDESC.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT TOPE AVANÇO MESA M5											256		btTOPA.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT TOPE RECUO MESA M5											257		btTOPR.M5
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT AUT MESA M6R											258		btAT.M6R
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ AUT MESA M6R											245		snAT.M6R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT ROLOS AVANÇO MESA M6R											259		btROLA.M6R

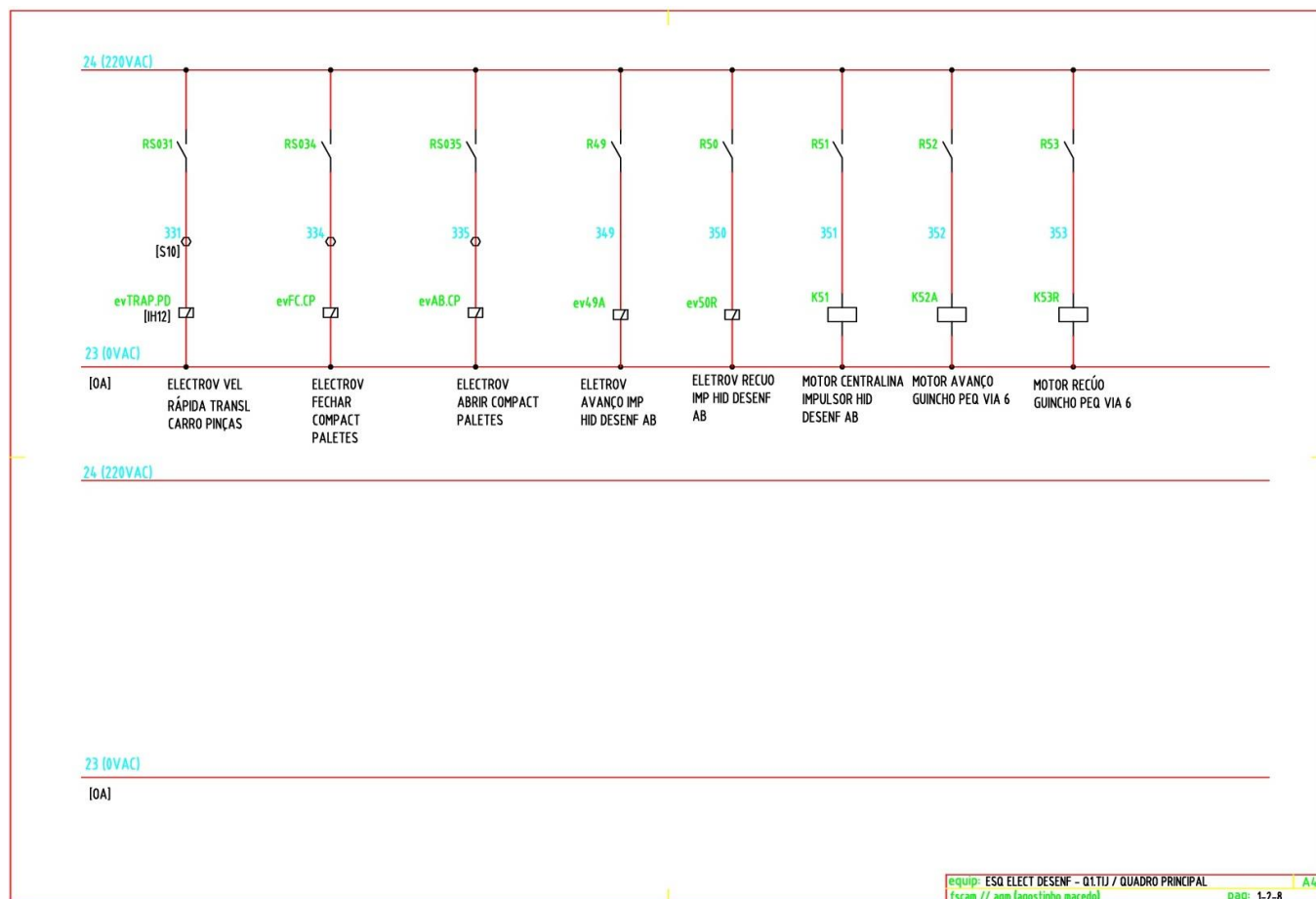
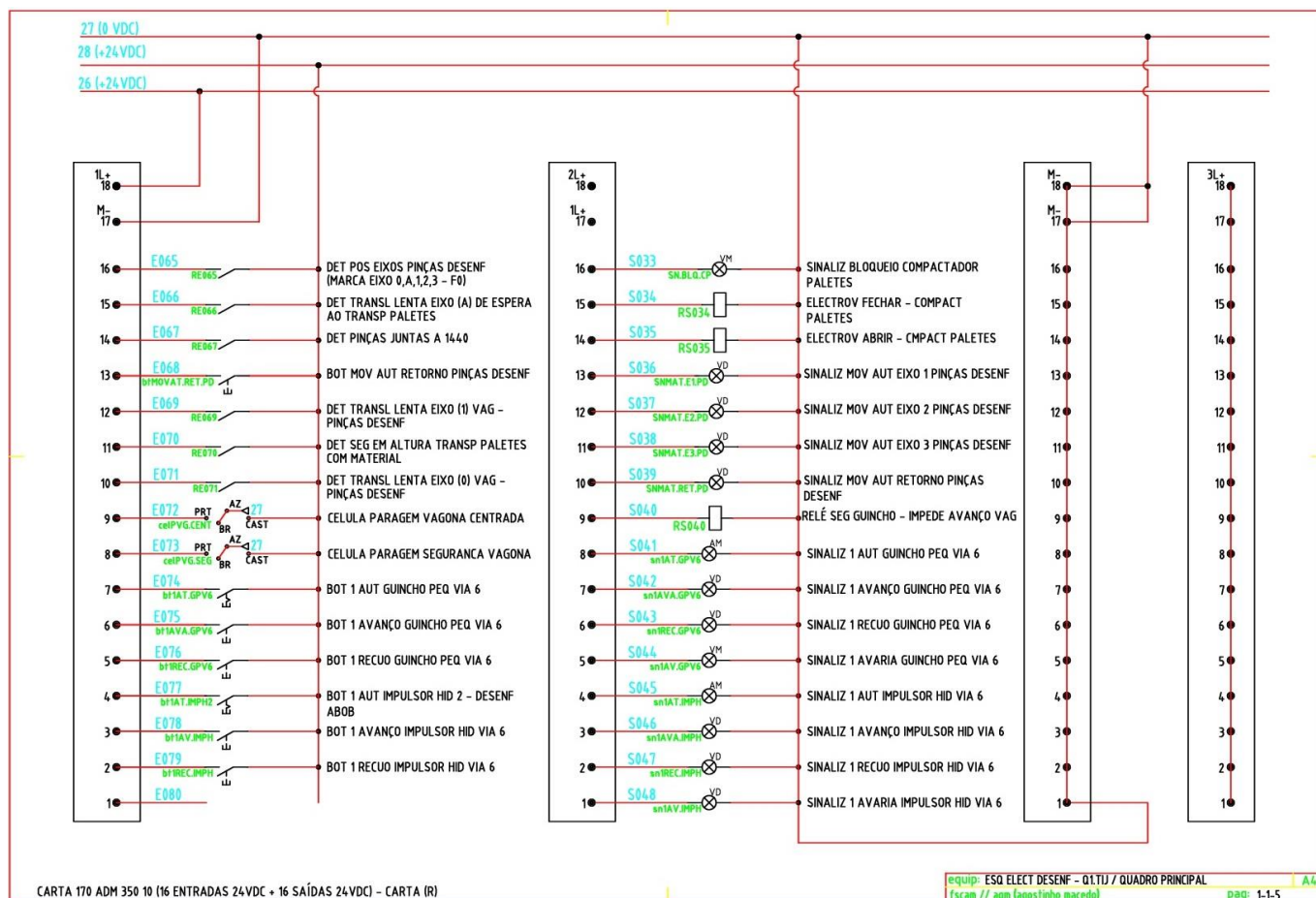
LISTAGEM ENTRADAS/SAÍDAS – PLC DESENF TIJOLO + DESENF ABOBADIHA (192.168.1.26)

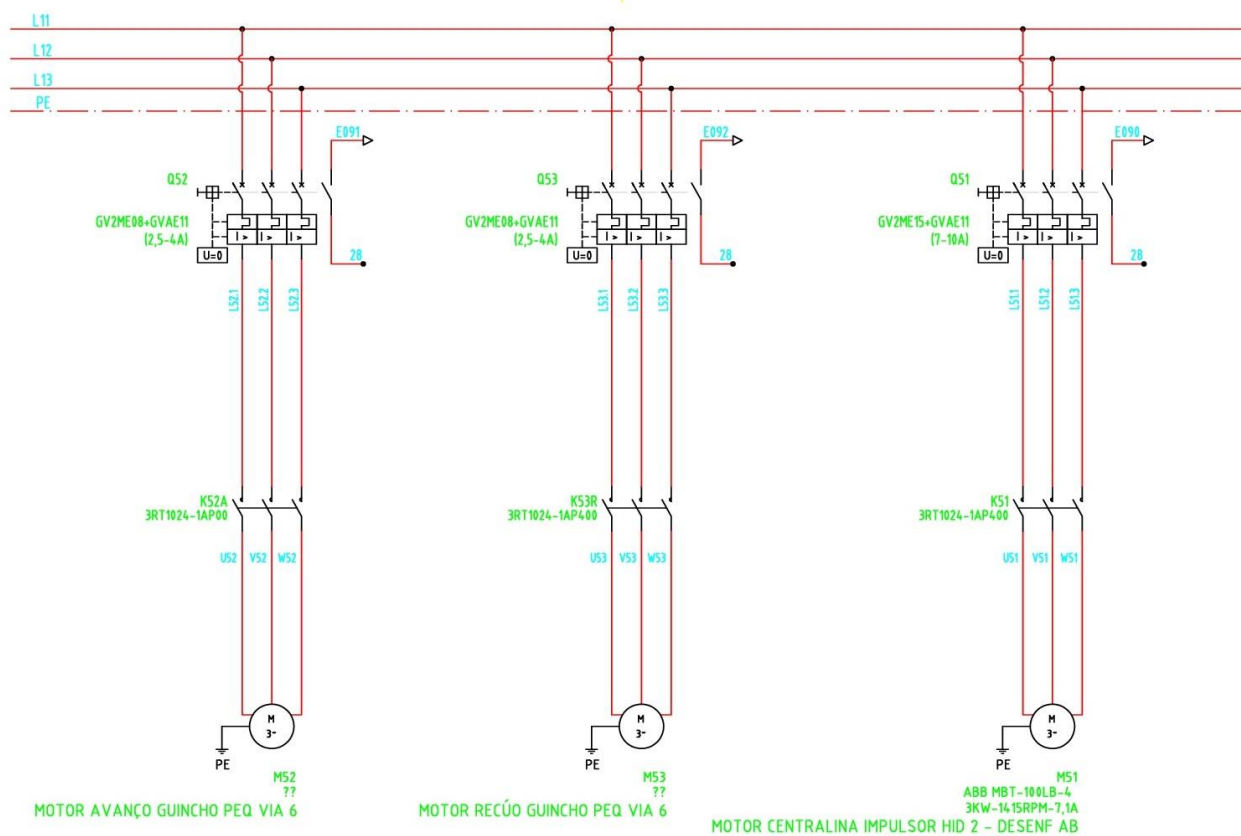
				DESC											CODIGO PLC
				PLC	Q1.TU / PRINCIPAL	Q2.TU / BANANA	Q3.TU / TRANSP. PALETES	Q4.TU / COMPACTADOR PALETES	Q5.ABOB / PRINCIPAL	Q6.ABOB / MESA COMANDO 1	Q7.ABOB / MESA COMANDO 2	Q8.ABOB / PINÇAS			
					F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btROLR.M6R
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btAT.PDA
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										snAT.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btSUB.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btDESC.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btAV.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btREC.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btRAP.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btAB.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btFEC.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btENCH.A.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btE.SVA.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btSDCELPA.PDA
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt2AT.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn2AT.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt1AT.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1AT.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt2AVA.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn2AVA.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt1AVA.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1AVA.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt2REC.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn2REC.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt1REC.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1REC.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										sn1VR.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1VR.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt2AT.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn2AT.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt1AT.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1AT.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt2AV.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn2AV.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt1AV.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1AV.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt2REC.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn2REC.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										bt1REC.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1REC.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										sn2AV.IMP2
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										sn1AV.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtTR.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtFR.IMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtTR.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtFR.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										fcVG.APOS.DTIJ
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										fcVG.ANTES.DAB
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										fcVG.APOS.DAB
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										fcVG.FIM.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										ceSEG.DAB
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										avIMP2
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										avTE.AGPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										avTE.RGPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evAVA.IMP2.DAB
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evREC.IMP2.DAB
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtC.IMP2.DAB
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtAVA.GPV6
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtREC.GPV6
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										btATV.DAB
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										snATV.DAB
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										SEG.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtTLT.POSR.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtTPOSR.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtTLT.POS.E.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtT.POSE.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtELV.POS.S.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtELV.POS.II.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtELV.POS.II.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtAB.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtROT.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtROT90E.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										avELEV.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										avTRANSL.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtSUB.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtDESC.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtAVA.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtREC.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtTRAP.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evAB.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evFEC.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evROT.PI
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evROT90E.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										SEG.PC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										fcSUP.PC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										fcINF.PC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtP1AB.PC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										dtP2AB.PC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC										avELEV.PC
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtSUB.PC
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										mtDESC.PC
+	S	-	BIN	PLC	24VDC										evABP1.PC

157

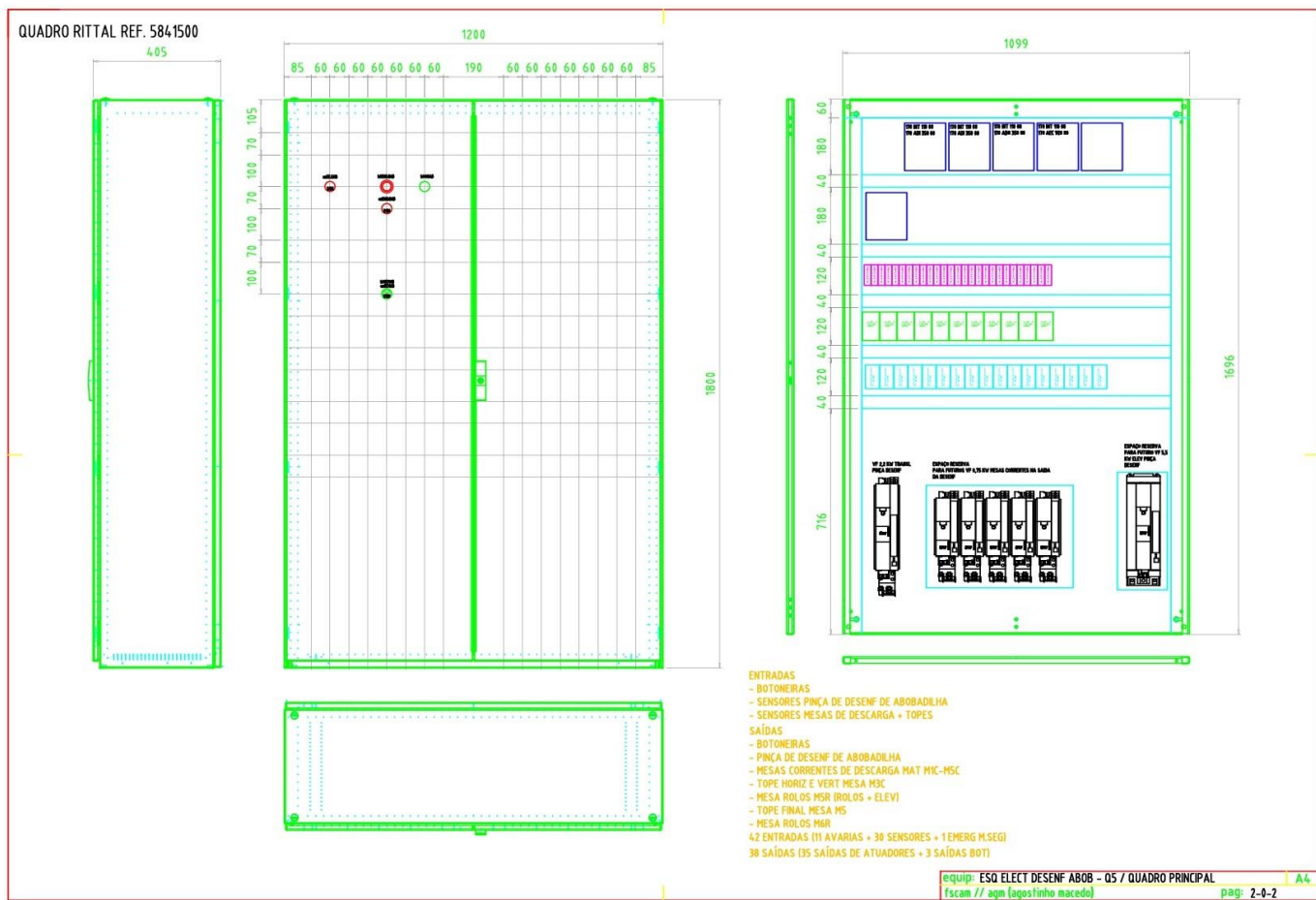
LISTAGEM ENTRADAS/SAÍDAS – PLC DESENF TIJOLO + DESENF ABOBADIHA (192.168.1.26)																			
DESC										CODIGO PLC									
PLC																			
										Q1-TU / PRINCIPAL	Q2-TU / BAMANA	Q3-TU / TRANSP- PALETES	Q4-TU / COMPACTADO R PALETES	Q5-ABOB / PRINCIPAL	Q6-ABOB / MESA	Q7-ABOB / MESA	Q8-ABOB / PINÇAS		
										F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO PINÇA PALET - PP												366	mtAVA.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR RECUO PINÇA PALET - PP												367	mtREC.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR TRANSL RÁPIDA PINÇA PALET - PP												368	mtTRAP.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV ABRIR PALAS GRANDES PINÇAS PALET -PP												369	evABPGR.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV ABRIR PALAS PEQUENAS PINÇAS PALET - PP												370	evABPPEQ.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV FECHAR PALAS GRANDES PINÇAS PALET - PP												371	evFECGR.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV FECHAR PALAS PEQUENAS PINÇAS PALET - PP												372	evFECPEQ.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV PINÇA 1 ROT 0º PINÇAS PALET - PP												373	evROT0P1.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV PINÇA 2 ROT 0º PINÇAS PALET - PP												374	evROT0P2.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV PINÇA 1 ROT 90º PINÇAS PALET - PP												375	evROT90P1.PP
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV PINÇA 2 ROT 90º PINÇAS PALET - PP												376	evROT90P2.PP
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO SEG CARREG PALETES - CPAL												443	fcSEG.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO INFERIOR VERT CARREG PALETES - CPAL												444	fdINF.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO INTERM VERT CARREG PALETES - CPAL												445	fdINT.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	FIM-CURSO SUPERIOR VERT CARREG PALETES - CPAL												446	fcSUP.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET BRAÇOS ABERTOS CARREG PALETES - CPAL												447	dtAB.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET BRAÇOS FECHADOS CARREG PALETES - CPAL												448	dtFEC.CPAL
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV ABRIR BRAÇOS ACUM CARREG PALETES - CPAL												377	evAB.CPAL
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV FECHAR BRAÇOS ACUM CARREG PALETES - CPAL												378	evFEC.CPAL
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SUBIR MESA ELEV CARREG PALETES - CPAL												379	mtSUB.CPAL
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	DESCER MESA ELEV CARREG PALETES - CPAL												380	mtDESC.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PALETE VAZIA NO INICIO DA MESA M8C (CARREG PALETES)												449	ceIPALV.M8C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PALETE VAZIA NO FINAL MESA - M8C												450	ceIPALVF.M8C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PALETE VAZIA POSICIONADA NA PINÇA 2 - M9C												451	ceIPALVPP2.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PALETE VAZIA POSICIONADA NA PINÇA 1 - M9C												452	ceIPALVPP1.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL PALETE COM MATERIAL NO FINAL MESA - M9C												453	ceIPALMF.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL DE ESPAÇAM ENTRE PALETES COM MATERIAL MESA - M10C												454	ceIESPPALV.M10C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL LINHA CHEIA MESA - M10C												455	ceILCHEIA.M10C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL BARREIRA SEG EMPILHADOR TRANSP FINAL ABOB												456	ceISEGEMP
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET IMPULSOS MESA CORRENTES - M8C												457	dtIMP.M8C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET IMPULSOS MESA CORRENTES - M9C												458	dtIMP.M9C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO MESA CORRENTES DE PALETES - M8C												381	mtAV.M8C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO MESA CORRENTES DE PALETES - M9C												382	mtAV.M9C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	TRAB MOTOR AVANÇO MESA CORRENTES DE PALETES - M10C												383	mtAV.M10C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR ELEV PINÇA PALET - PP												459	avELEV.PP
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR TRANSL PINÇA PALET - PP												460	avTRANSL.PP
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR MESA ELEV CARREG PALETES - CPAL												461	avELEV.CPAL
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	AVARIA TERM MOTOR MESA CORRENTES PALETES - M8C+M9C+M10C												462	avCORR.MC
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT VEL RÁPIDA PINÇA INTERC PI												463	btRAP.PI
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	CEL SEG FINAL MESA M10C												464	ceISEGF.M10C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET INF POSIC PALETES VAZIAS MESA M9C												465	dtINFPPALV.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	DET SUP POSIC PALETES VAZIAS MESA M9C												466	dtSUPPPALV.M9C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV SUBIR POSIC PALETES VAZIAS MESA M9C												384	evSUBPPALV.M9C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	ELETROV DESCER POSIC PALETES VAZIAS MESA M9C												385	evDESCPPALV.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT AUT POSIC PALETES VAZIAS M9C												467	btATPPALV.M9C
+	S	-	BIN	PLC	24VDC	SINALIZ AUT POSIC PALETES VAZIAS M9C												386	snATPPALV.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT SUBIR POSIC PALETES VAZIAS M9C												468	btSUBPPALV.M9C
+	E	-	BIN	PLC	24VDC	BOT DESCER POSIC PALETES VAZIAS M9C												469	btDESCPPALV.M9C
+	S	-	BIN		24VDC	SINAL TRAB MAQ CINTAR ABOB												387	SinalTB.MCTAB
+	E	-	BIN		24VDC	FIM-CICLO MAQ CINTAR ABOB												470	FIMC_MCAB
+	E	-	BIN		24VDC	MAQUINA CINTAR ABOB EM POS SEG												471	MCTAB_POS_SEG

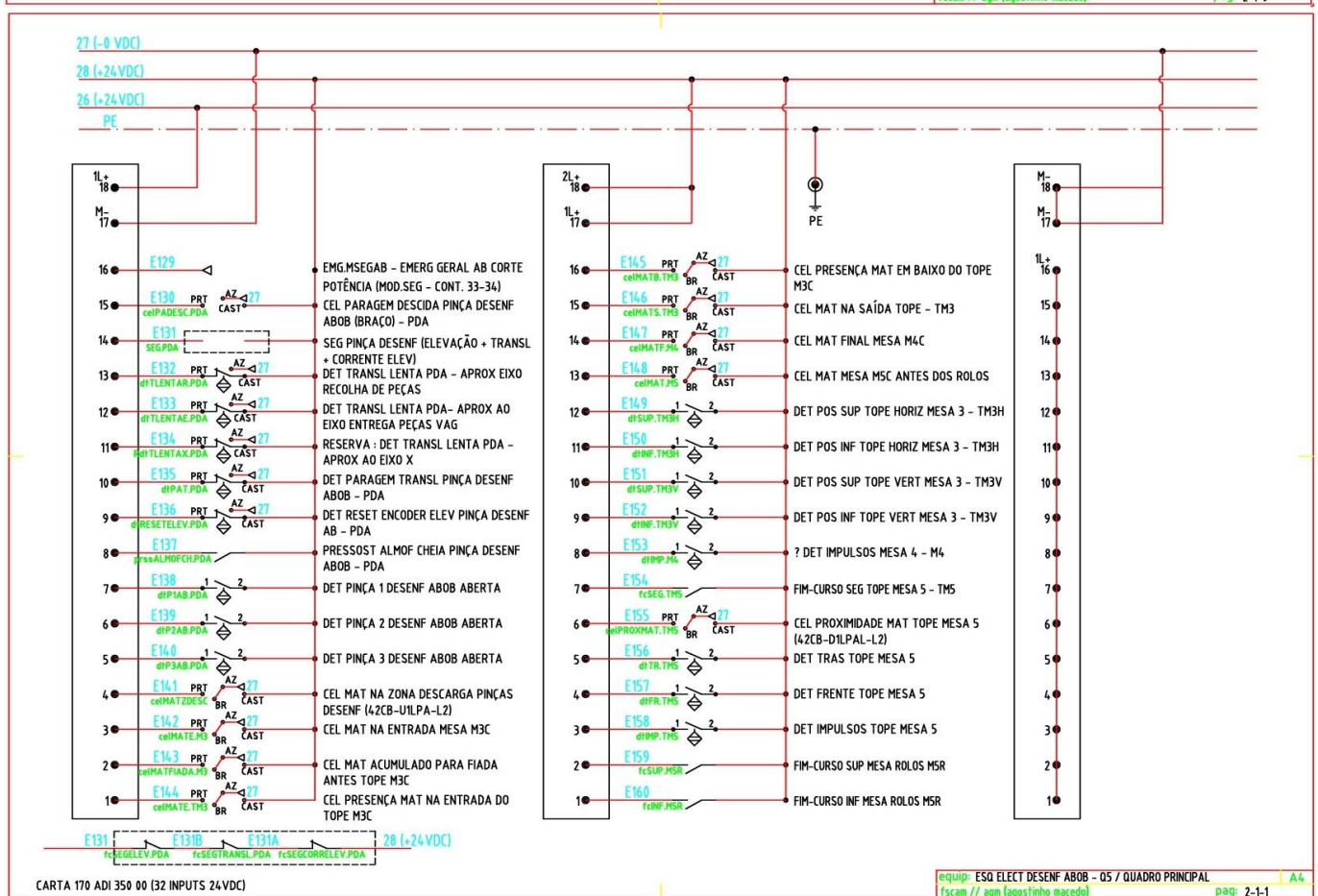
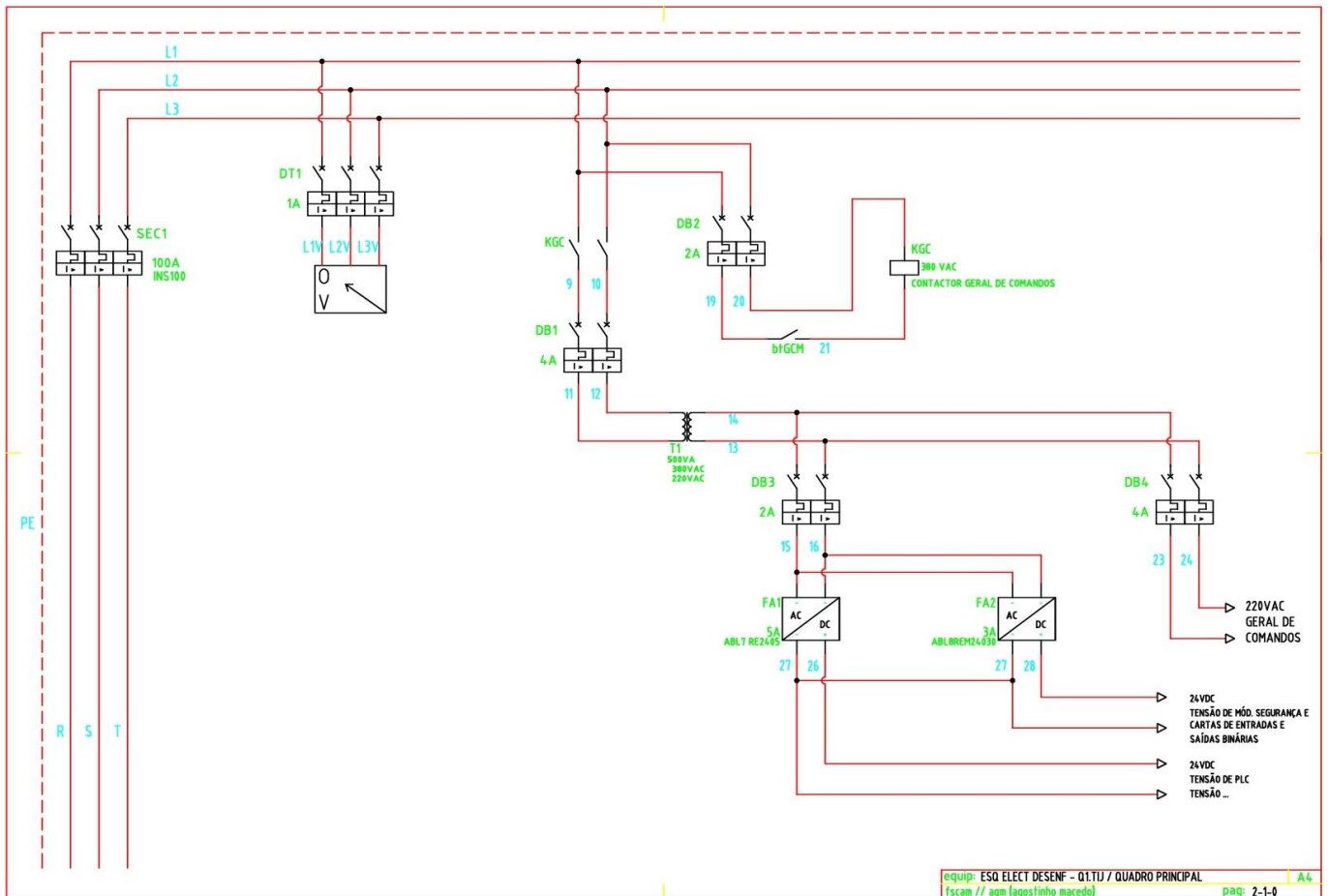
III.2 Quadro principal de tijolo (sistemas comuns ao tijolo e à abobadilha)

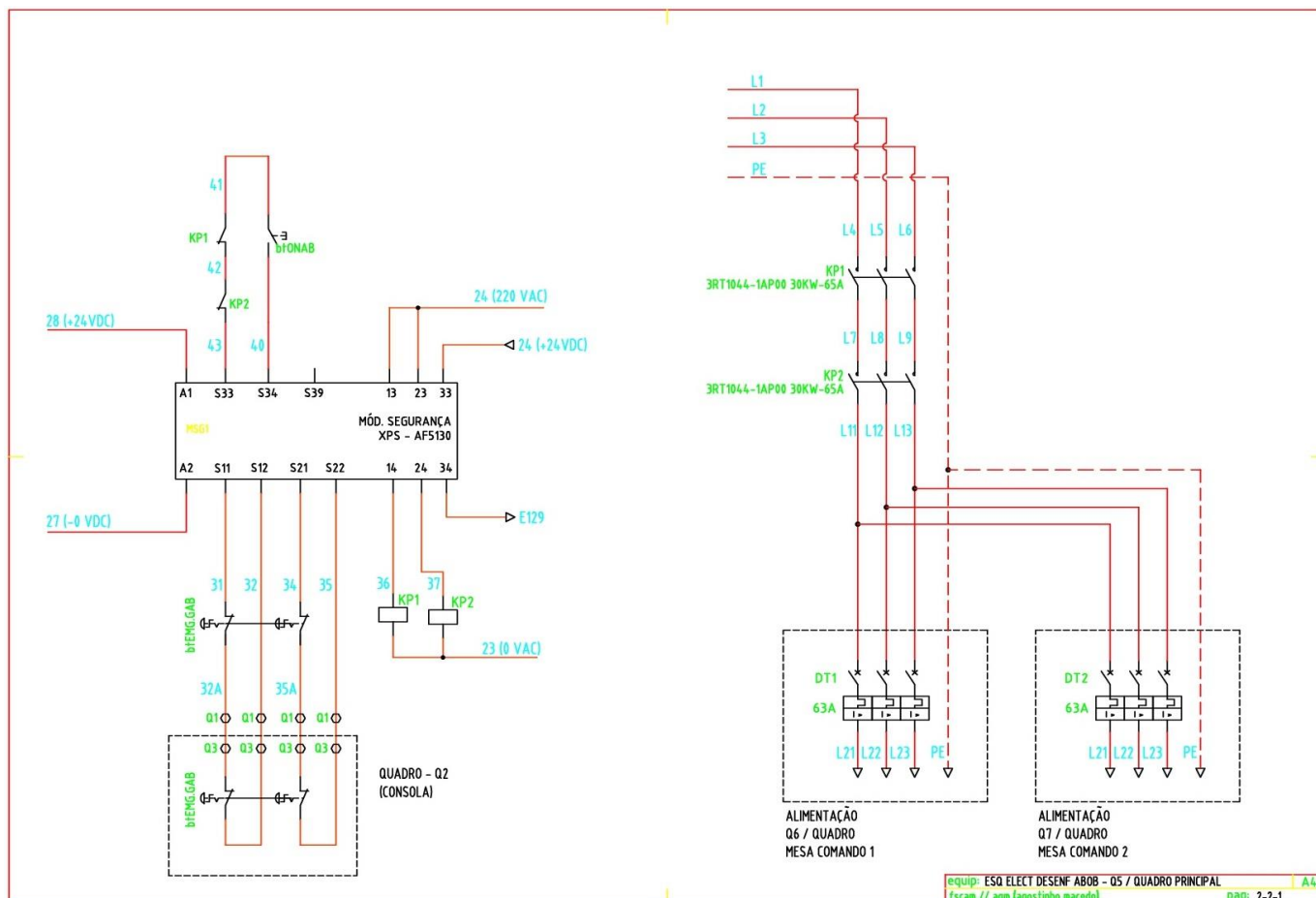
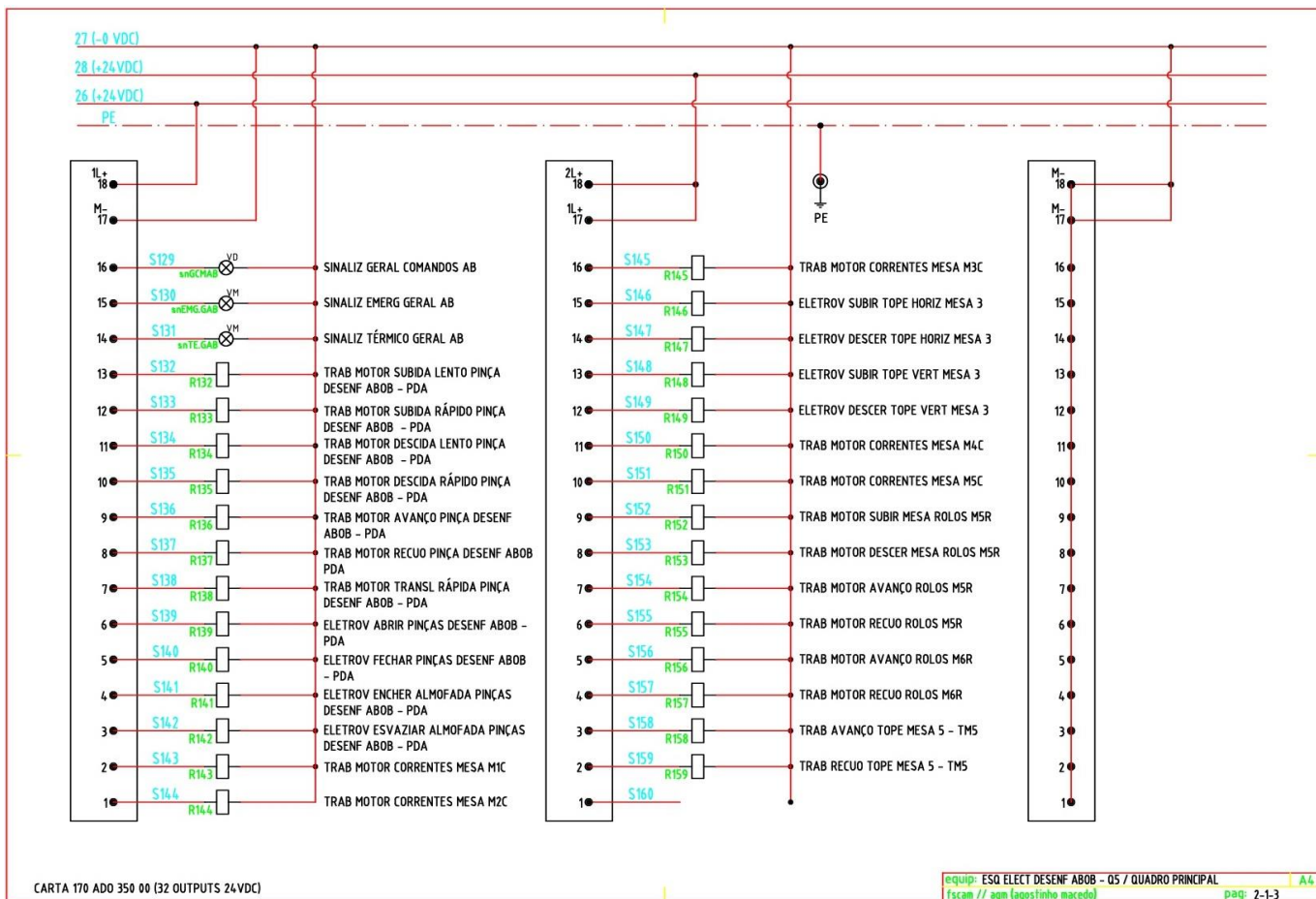


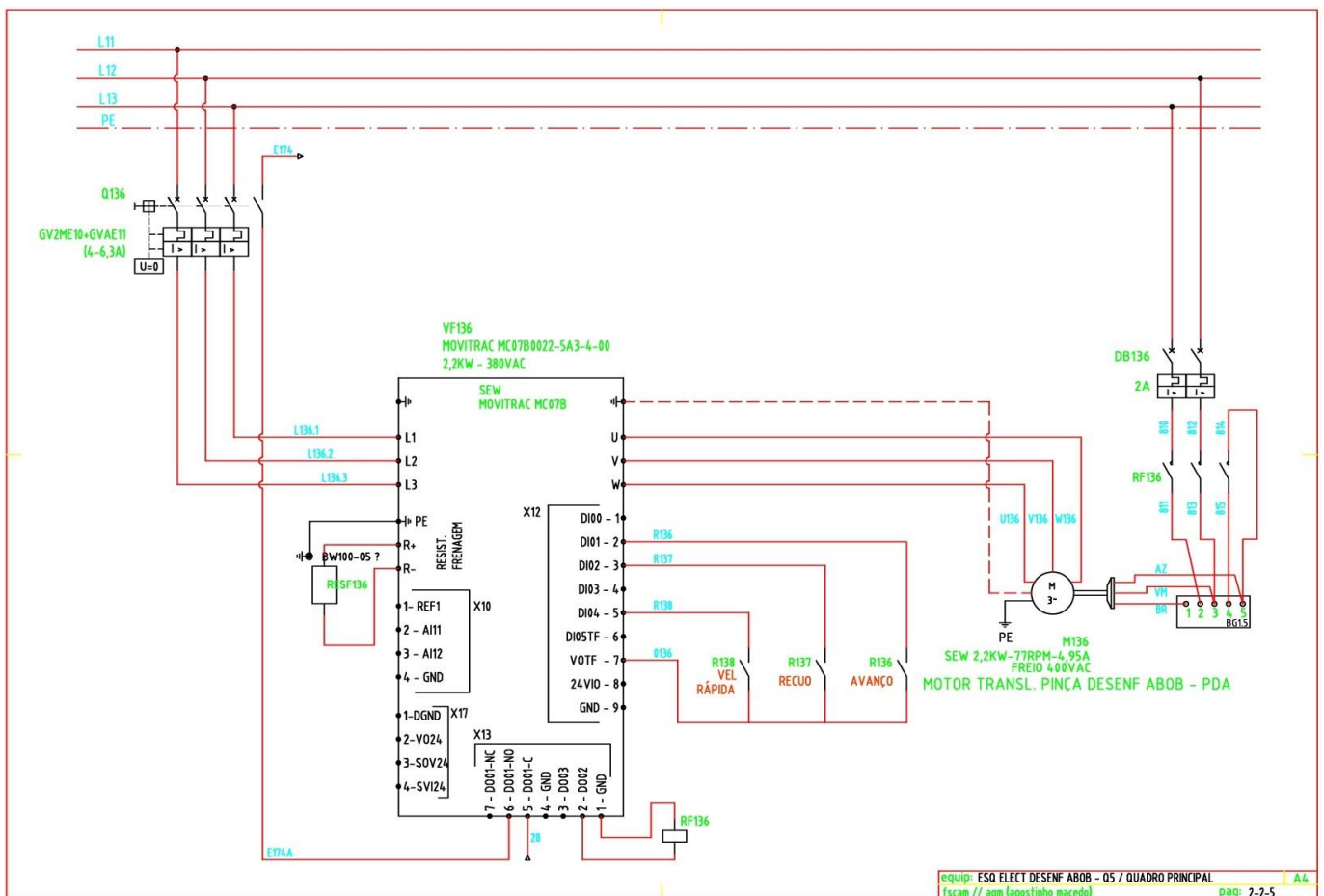
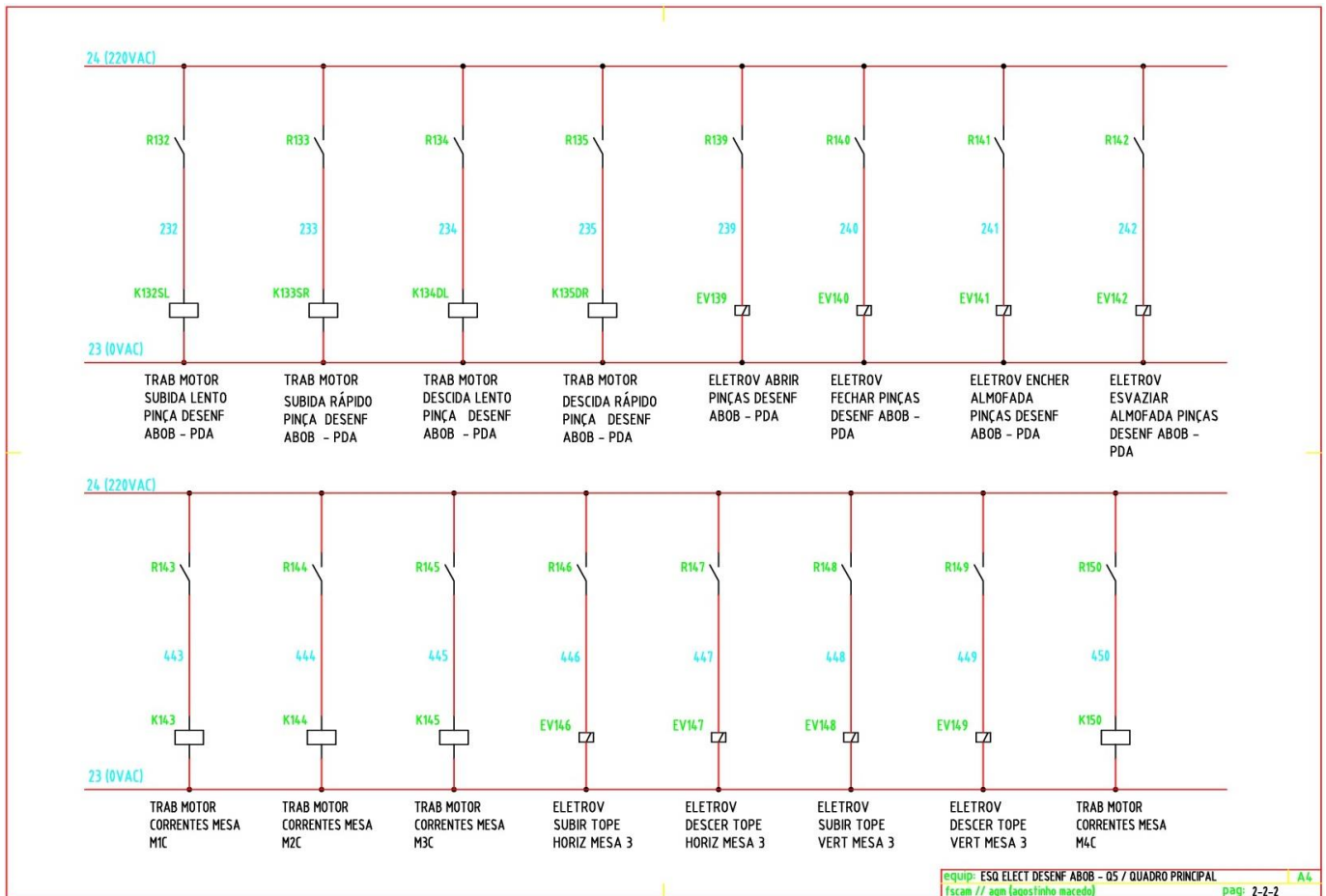


III.3 Quadro principal de abobadilha



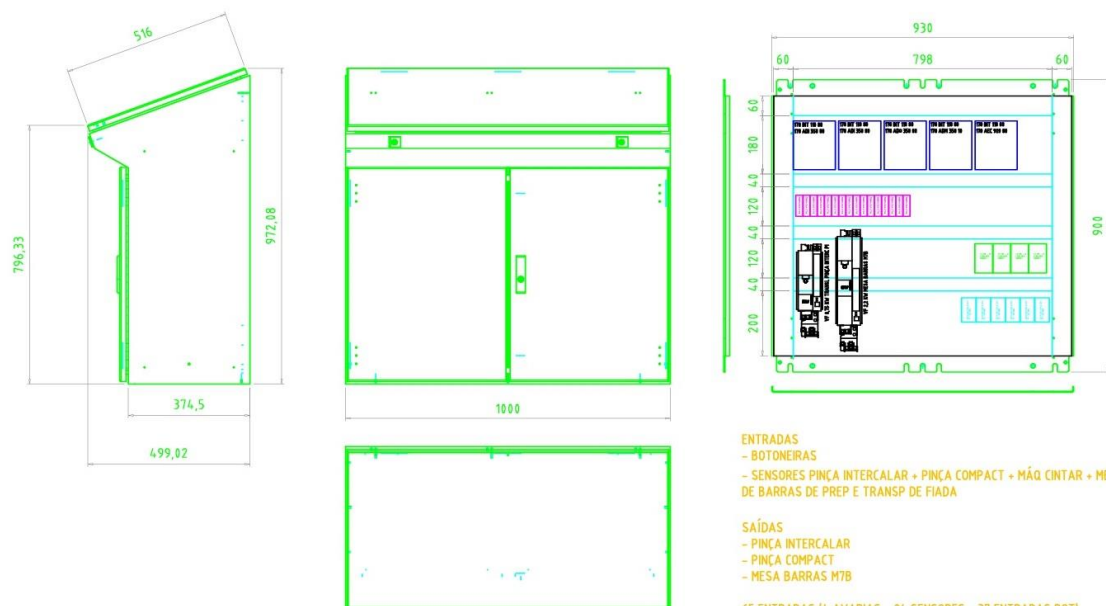






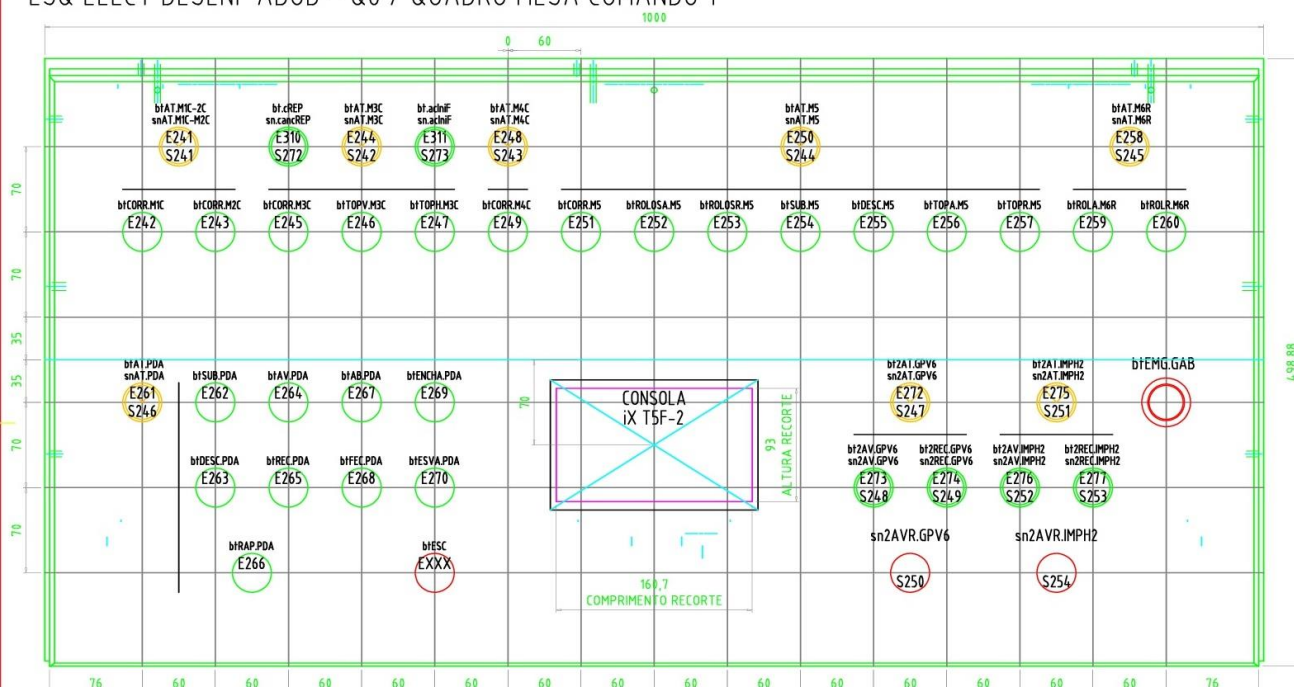
III.4 Quadro consola 1 de abobadilha

QUADRO MESA DE COMANDO
RITTAL 6740500

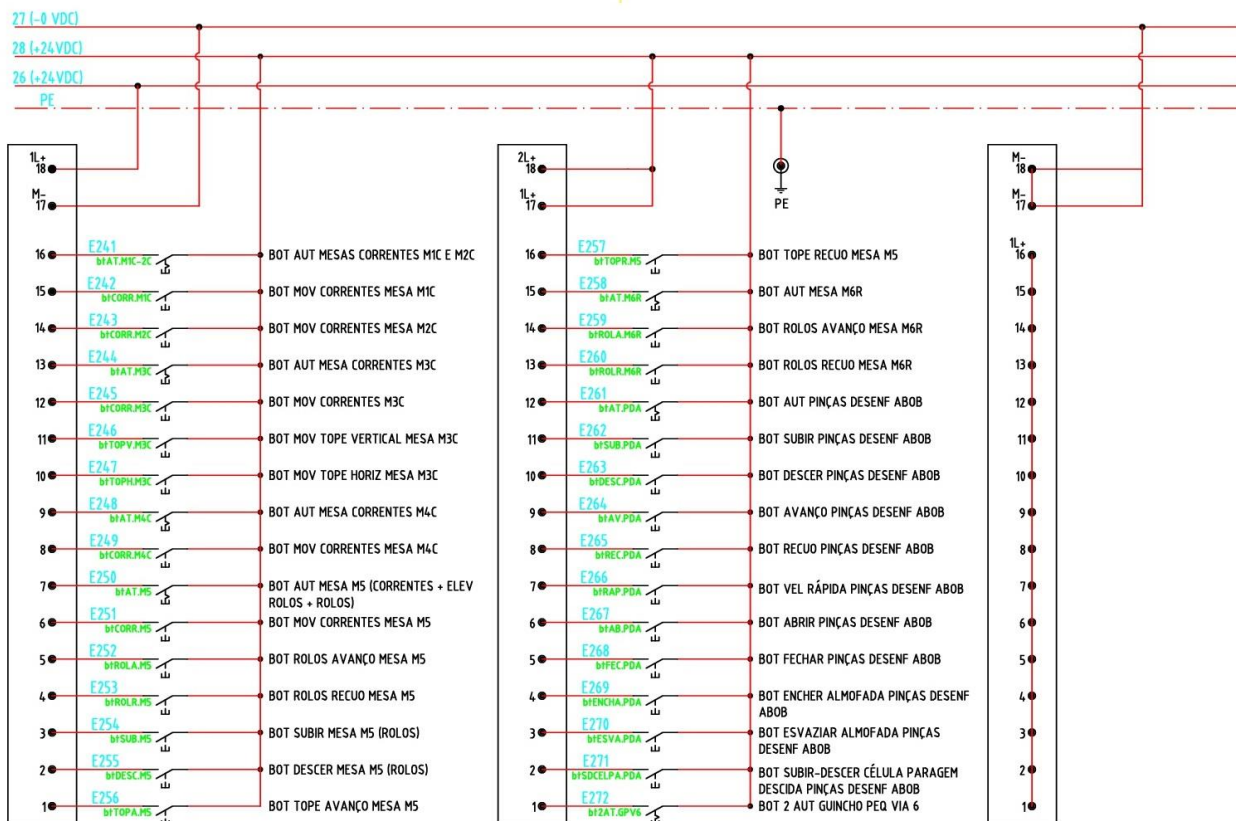


equip: ESQ ELECT DESENF ABOB - Q6 / QUADRO MESA COMANDO 1
fscam // agn (agostinho macedo) pag: 3-0-1 A4

ESQ ELECT DESENF ABOB - Q6 / QUADRO MESA COMANDO 1

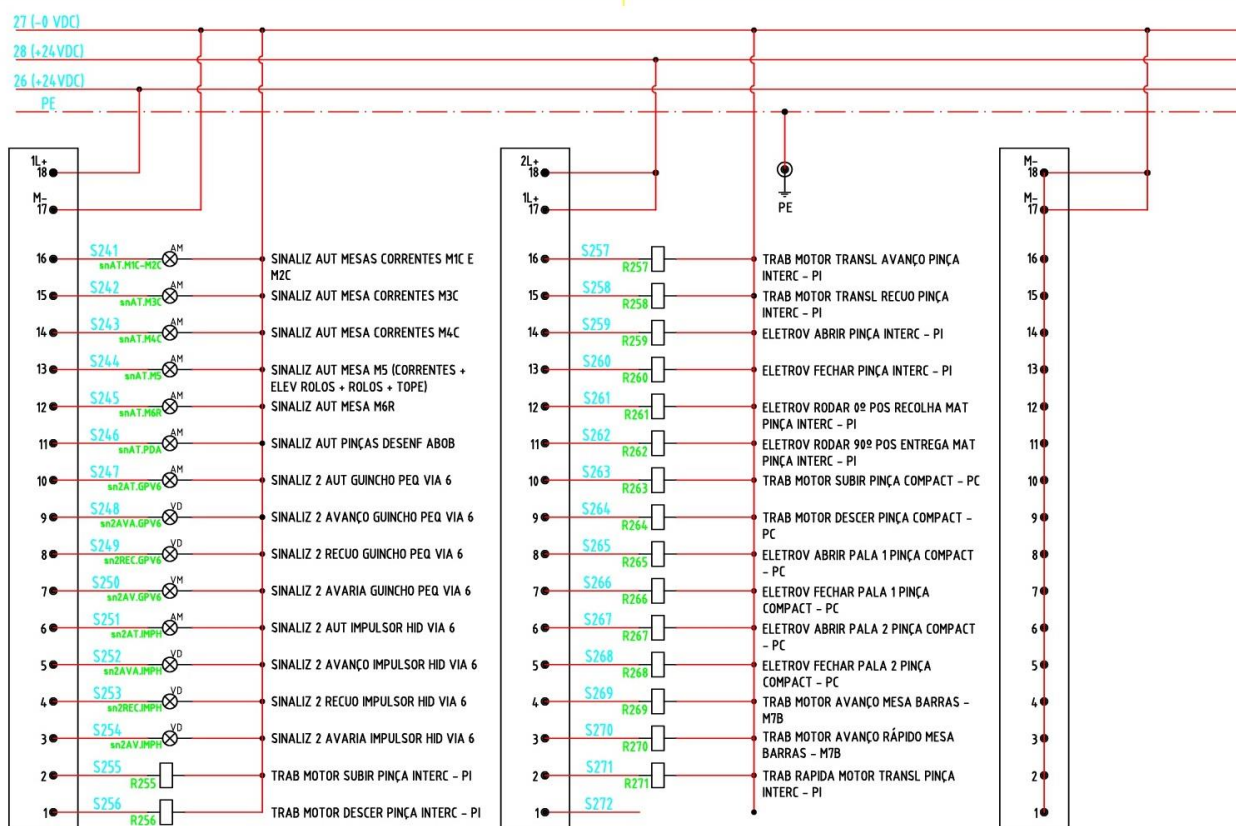


equip: ESQ ELECT DESENF ABOB - Q6 / QUADRO MESA COMANDO 1
fscam // agn (agostinho macedo) pag: 3-0-2 A4



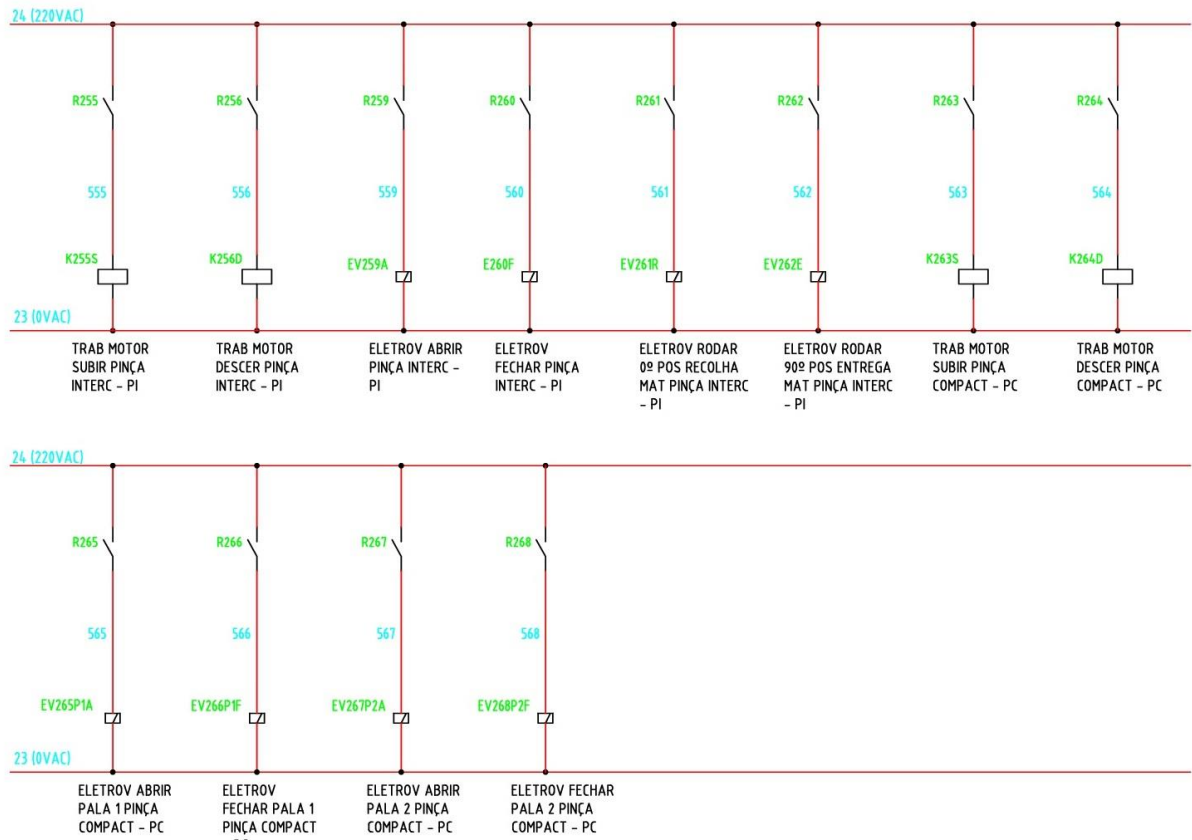
CARTA 170 ADI 350 00 (32 INPUTS 24VDC)

equip: ESQ ELECT DESENF ABOB - 06 / QUADRO MESA COMANDO 1
fscam // agm (agostinho macedo)
pag: 3-1-1 A4

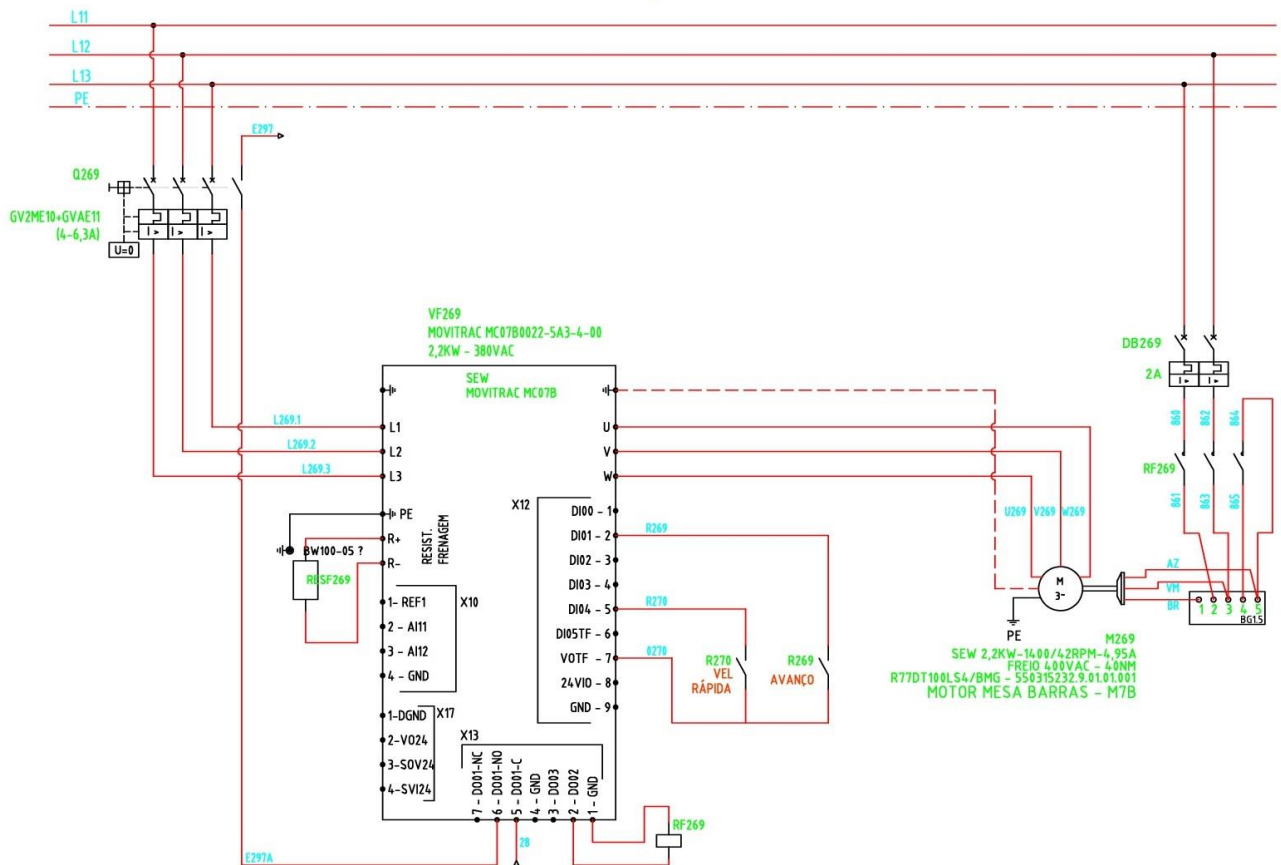


CARTA 170 ADO 350 00 (32 OUTPUTS 24VDC)

equip: ESQ ELECT DESENF ABOB - 06 / QUADRO MESA COMANDO 1
fscam // agm (agostinho macedo)
pag: 3-1-3 A4



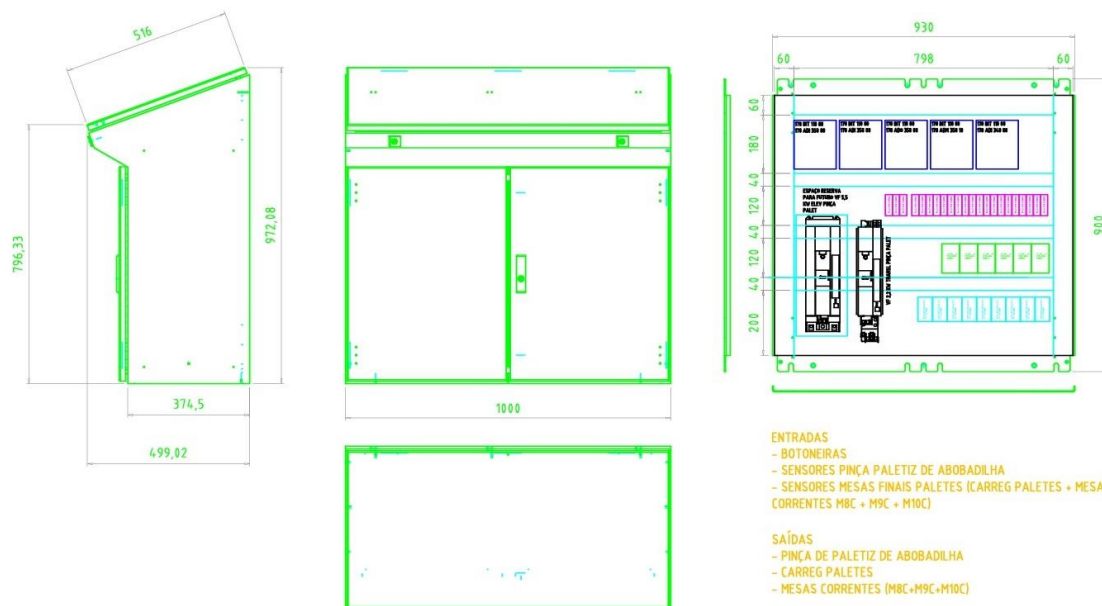
equip: ESQ ELECT DESENH AB08 - 06 / QUADRO MESA COMANDO 1 A4
fscam // agn lagosinho macedo pag: 3-2-1



equip: ESQ ELECT DESENH AB08 - 06 / QUADRO MESA COMANDO 1 A4
fscam // agn lagosinho macedo pag: 3-2-5

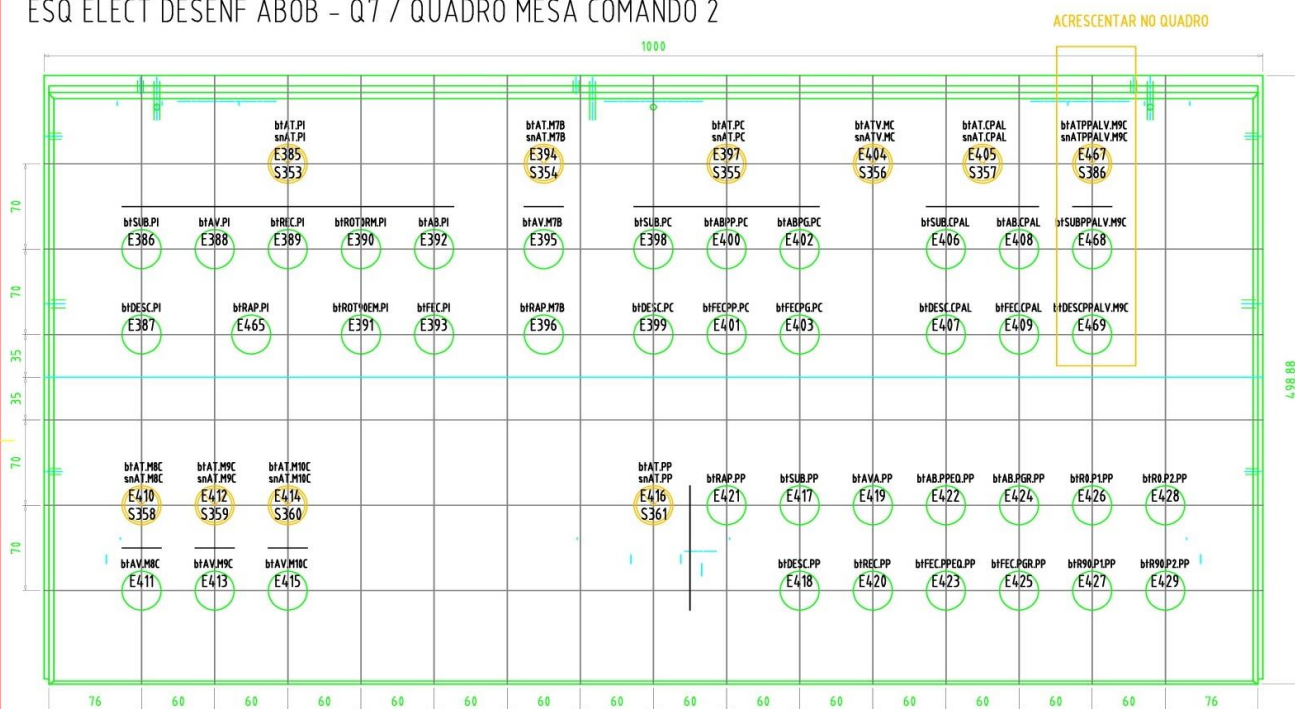
III.5 Quadro consola 2 de abobadilha

QUADRO MESA DE COMANDO
RITTAL 6740500

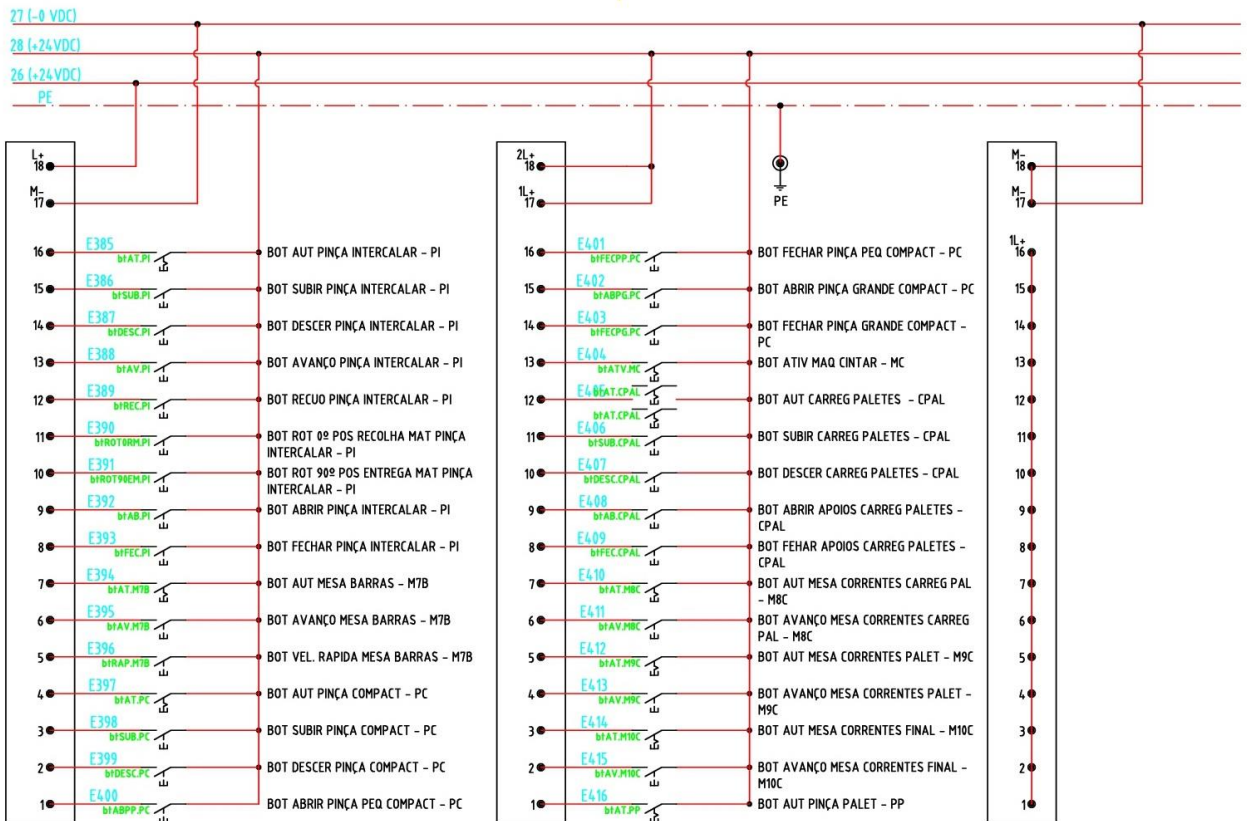


equip: ESQ ELECT DESENF ABOB - Q7 / QUADRO MESA COMANDO 2 A4
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 4-0-1

ESQ ELECT DESENF ABOB - Q7 / QUADRO MESA COMANDO 2



equip: ESQ ELECT DESENF ABOB - Q7 / QUADRO MESA COMANDO 2 A4
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 4-0-2



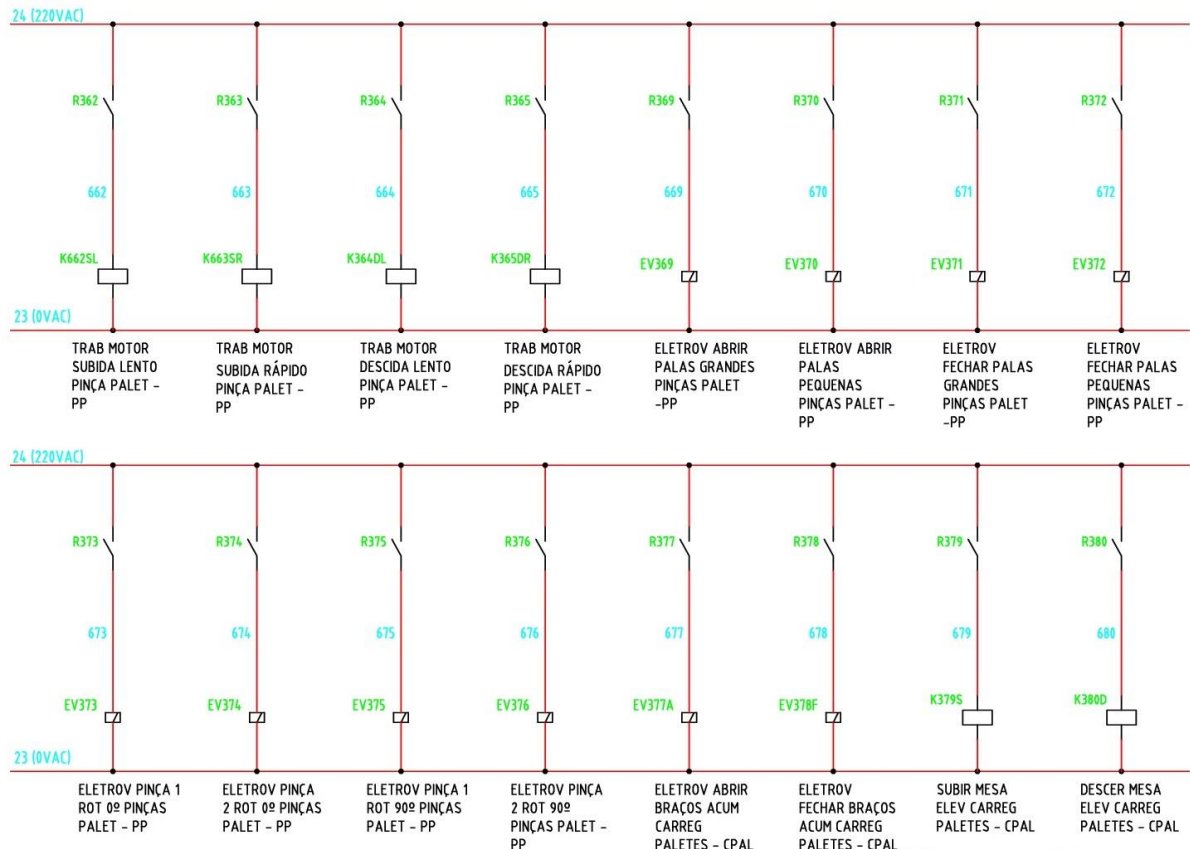
CARTA 170 ADI 350 00 (32 INPUTS 24VDC)

equip: ESQ ELECT DESENF AB08 - Q7 / QUADRO MESA COMANDO 2
fscam // agm lagosinho macedo
pag: 4-1-1 A4

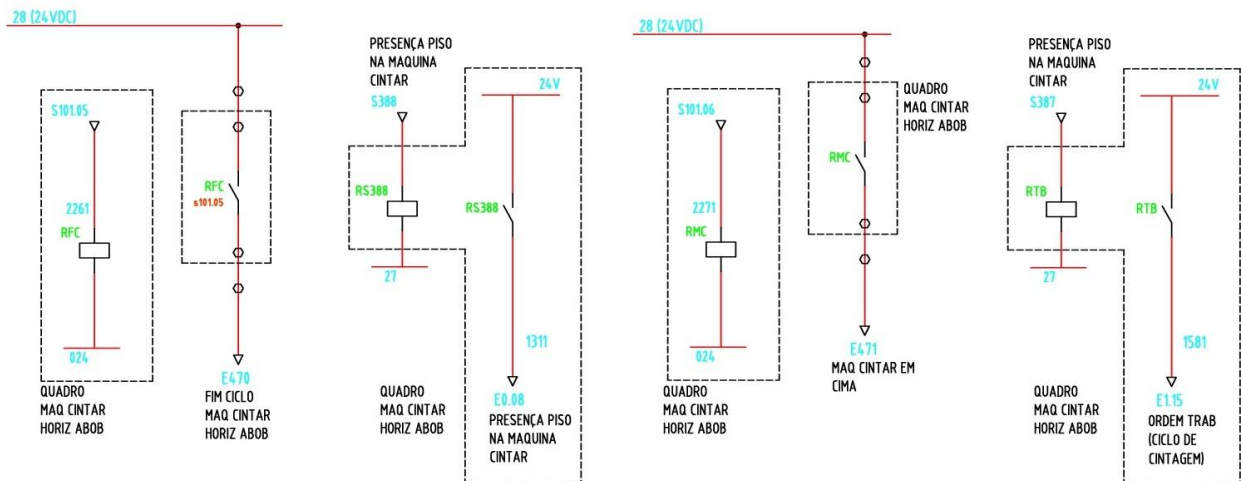


CARTA 170 ADO 350 00 (32 OUTPUTS 24VDC)

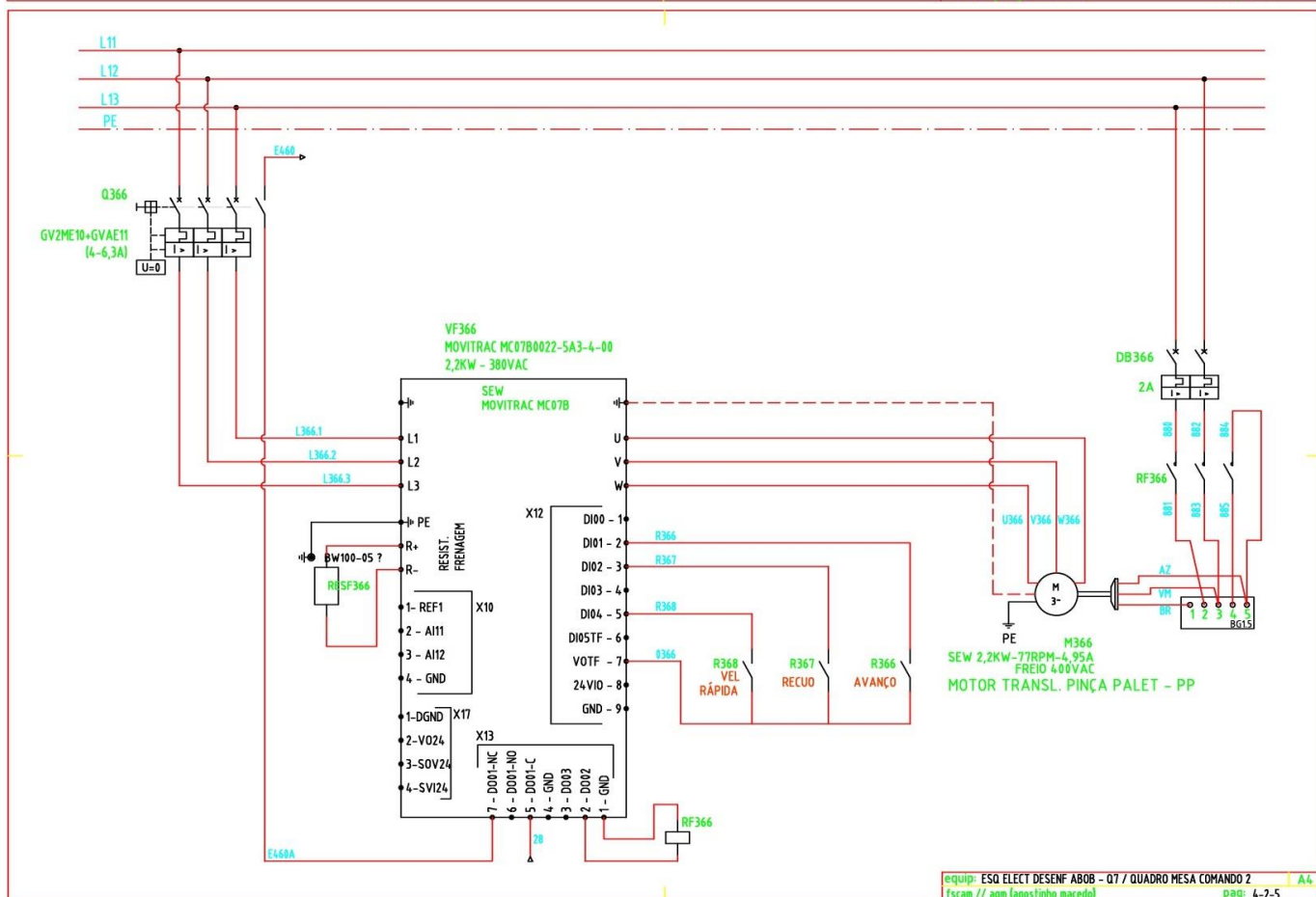
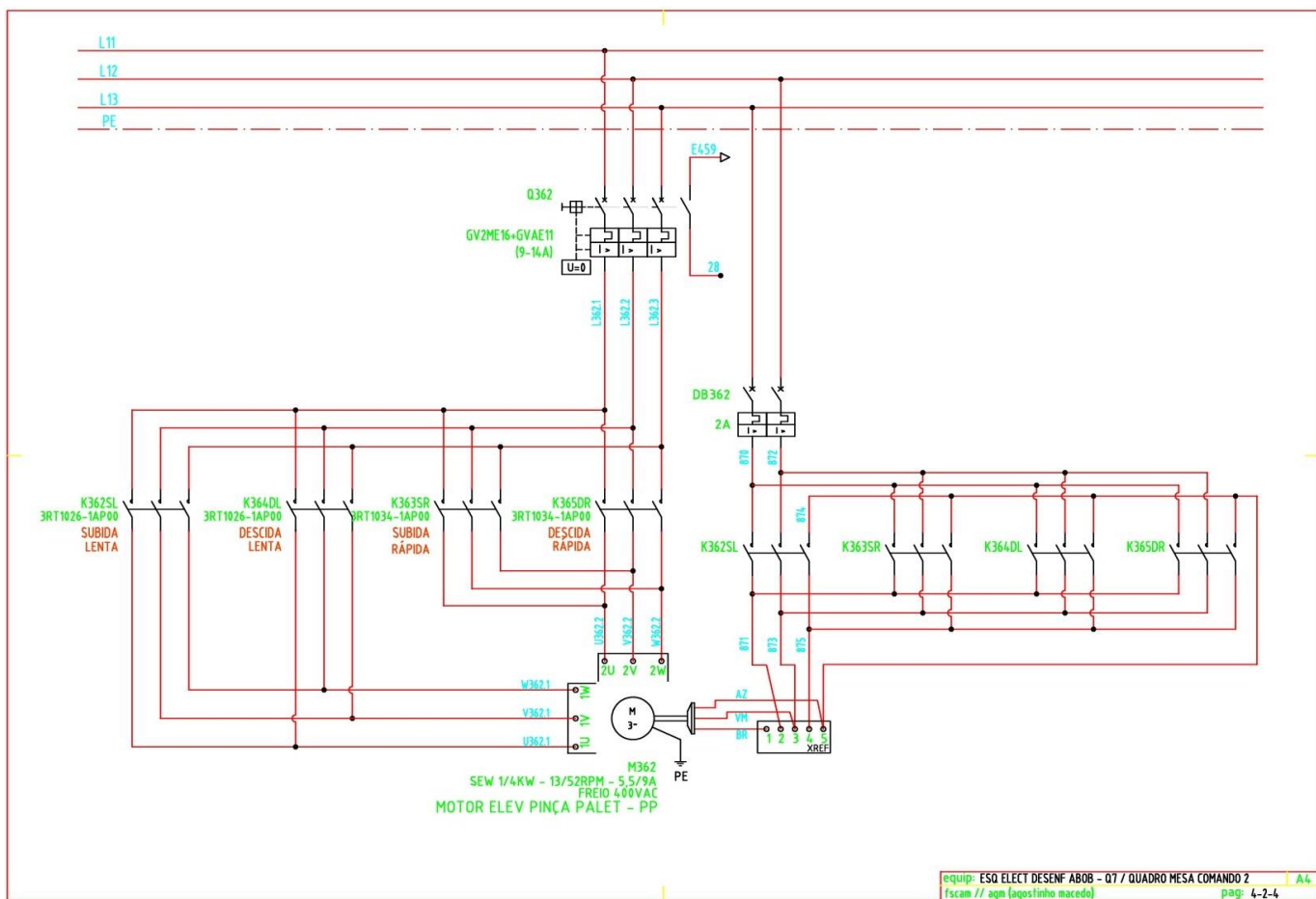
equip: ESQ ELECT DESENF AB08 - Q7 / QUADRO MESA COMANDO 2
fscam // agm lagosinho macedo
pag: 4-1-3 A4



equip: ESQ ELECT DESENH AB08 - 07 / QUADRO MESA COMANDO 2 A4
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 4-2-1



equip: ESQ ELECT DESENH AB08 - 07 / QUADRO MESA COMANDO 2 A4
fscam // agm (agostinho macedo) pag: 4-2-3



ANEXO IV - PROGRAMA DO PLC DA ENFORNA DE ABOBADILHA

IV.1 Mapa de cartas do PLC

I / O Map

Remote (Head slot 0)							
Drop	Type	Modules	Holdup [ms]	Input-Bits	Output-Bits	Status Reg.	Activate
1	Momentum	1	-	32	0		-
2	I/O Bus	7	-	336	336		-

Local Drop						
Drop Type: Momentum				Drop 1		
Slot	Module name	Input Range	Output Range	Module description	In/Out-Type	Timeout-State
1	ADI-350-00	100001-100032		24V DC-32 Pt Input	BIN	

Remote (Head slot 0)						
Drop Type: I/O Bus				Drop 2		
Slot	Module name	Input Range	Output Range	Module description	In/Out-Type	Timeout-State
1	ADI-350-00	100033-100064		24V DC-32 Pt Input	BIN	
2	ADO-350-00		000001-000032	24V DC-32 Pt Output	BIN	
3	ADI-350-00	100129-100160		24V DC-32 Pt Input	BIN	
4	ADO-350-00		000129-000160	24V DC-32 Pt Output	BIN	
5	ADM-350-1X	100161-100176	000161-000176	24V DC-16 Pt Input, 16 Pt Output	BIN BIN	
6	AEC-920-00	300001-300008	401800-401807	High-Speed Counter		
7	AEC-920-00	300010-300017	401820-401827	High-Speed Counter		

IV.2 Estrutura de secções do programa do PLC

Project structure
<pre>Project : ENF Group:copEntradas LD:copEntradas1 Group:encAEC FBD:AEC1 FBD:AEC2 ST:Transf_PLC ST:g_progEAB1 ST:g_progEAB2 LD:PermTB LD:Sistema1 ST:Sistema2 LD:MAlimM1R LD:MAlimM1R_at LD:ppe_PPisoEntrada1 ST:ppe_PPisoEntrada2 LD:pAPisovg1 ST:pAPisovg2 LD:PEA_PEnfornaAb1 ST:PEA_PEnfornaAb2 LD:Transpvia3 ST:ContProd1 LD:ContProd2 LD:Sinaliz</pre>

IV.3 Variáveis do PLC

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: address)						
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
scelTopMNery	VAR	BOOL	000001		SINAL CELULA TOP MNERY P/ SISTEMA AGEMAC	1
sdtTopMNery	VAR	BOOL	000002		SINAL DET TOP MNERY P/ SISTEMA AGEMAC	1
snBLQ_PEA	VAR	BOOL	000003		Sinaliz de bloqueio pinça PEA	0
snATV_ENFAB	VAR	BOOL	000004		SINALIZ ATIV. ENFORNA ABOB	1
rolDESC	VAR	BOOL	000005		RELE TRAB ROLOS DESCARREGADOR (SISTEMA ABOB ATIVO)	1
ATV_ABOB	VAR	BOOL	000006		ATIVA SISTEMA ABOB	1
mtMTap	VAR	BOOL	000007		TRAB MOTOR TAPETE MESA AGEMAC (SISTEMA ABOBO ATIVO)	1
evS_topMNery	VAR	BOOL	000008		ELETROV SUBIDA TOPE MESA ROLOS NERY	2
evD_topMNery	VAR	BOOL	000009		ELETROV DESCIDA TOPE MESA ROLOS NERY	2
releSD_DESC	VAR	BOOL	000010		RELE SUBIDA E DESCIDA DESCARREGADOR	1
mtRolosMNERY	VAR	BOOL	000011		TRAB MOTOR ROLOS MESA NERY (SISTEMA ABOBO ATIVO)	1
snAT_MALIM	VAR	BOOL	000012		SINALIZ AUT MESAS ALIM (MESA ROLOS NERY + MESA TAP AGEMAC)	1
snAT_M1R	VAR	BOOL	000013		SINALIZ AUT MESA M1R	1
snAT_MVIR	VAR	BOOL	000014		SINALIZ AUT MESA VIRADOR (M2C+VIRADOR)	1
snAT_M3	VAR	BOOL	000015		SINALIZ AUT MESA M3 (M3C+M3R)	1
snAT_M4R	VAR	BOOL	000016		SINALIZ AUT MESA INTERM M4R	1
snAT_M5R	VAR	BOOL	000017		SINALIZ AUT MESA M5R	1
snAT_PEA	VAR	BOOL	000018		SINALIZ AUT PINÇA ENFORNA ABOB	1
snAT_GPV3	VAR	BOOL	000019		SINALIZ AUT GUINCHO PEQ VIA 3	1
snAva_GPV3	VAR	BOOL	000020		SINALIZ AVANÇO GUINCHO PEQ VIA 3	1
snRec_GPV3	VAR	BOOL	000021		SINALIZ RECUO GUINCHO PEQ VIA 3	1
snAT_IMPH	VAR	BOOL	000022		SINALIZ AUT IMPULSOR HID	1
snRec_IMPH	VAR	BOOL	000023		SINALIZ RECUO IMPULSOR HID	1
snAva_IMPH	VAR	BOOL	000024		SINALIZ AVANÇO IMPULSOR HID	1
snAv_IMPH	VAR	BOOL	000025		SINALIZ AVARIA IMP HID	1
snAv_GPV3	VAR	BOOL	000026		SINALIZ AVARIA GUINCHO PEQ VIA 3	1
snEMG_DESC	VAR	BOOL	000027		SINALIZ EMERG DESCARREGADOR	1
mtFr_GPV3	VAR	BOOL	000028		TRAB MOTOR FRENTE GUINCHO PEQ VIA 3	2
mtTr_GPV3	VAR	BOOL	000029		TRAB MOTOR TRAS GUINCHO PEQ VIA 3	2
evAva_IMPH	VAR	BOOL	000030		Eletrov avanço impulsor hid via 3;	4
evRec_IMPH	VAR	BOOL	000031		ELETROV RECUO IMPULSOR HID VIA 3	3
mtCent_IMPH	VAR	BOOL	000032		MOTOR CENTRALINA IMPULSOR HID VIA 3	3
RES_S033	VAR	BOOL	000033			0
RES_S034	VAR	BOOL	000034			0
RES_S035	VAR	BOOL	000035			0
RES_S036	VAR	BOOL	000036			0
RES_S037	VAR	BOOL	000037			0
RES_S038	VAR	BOOL	000038			0
RES_S039	VAR	BOOL	000039			0
RES_S040	VAR	BOOL	000040			0
RES_S041	VAR	BOOL	000041			0
RES_S042	VAR	BOOL	000042			0
RES_S043	VAR	BOOL	000043			0
RES_S044	VAR	BOOL	000044			0
RES_S045	VAR	BOOL	000045			0
RES_S046	VAR	BOOL	000046			0
RES_S047	VAR	BOOL	000047			0
RES_S048	VAR	BOOL	000048			0
mtROLOS_M1R	VAR	BOOL	000129		TRAB MOTOR ROLOS MESA M1R	3
evA_agM1R	VAR	BOOL	000130		ELETROV ABRIR AGRUPADOR MESA M1R	2
evF_agM1R	VAR	BOOL	000131		ELETROV FECHAR AGRUPADOR MESA M1R	2
evS_topM1R	VAR	BOOL	000132		ELETROV SUBIR TOPE MESA M1R	2
evD_topM1R	VAR	BOOL	000133		ELETROV BAIXAR TOPE MESA M1R	2
mtCORR_M2C	VAR	BOOL	000134		TRAB MOTOR CORR TRANSP MESA VIRADOR M2C	3
mtVIR	VAR	BOOL	000135		TRAB MOTOR VIRADOR	10
mtCORR_M3C	VAR	BOOL	000136		TRAB MOTOR CORR TRANSP MESA M3C	2
mtSUB_M3R	VAR	BOOL	000137		Motor subida da mesa elevatória de rolos M3R;	1
mtDesc_M3R	VAR	BOOL	000138		Motor descida da mesa elevatória de rolos	1

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: address)						
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
ppeErr_dpte	VAR	DINT				2
ppeErr_dpteR	VAR	DINT				2
ppeErr_IMed	VAR	BOOL				2
ppeErr_IPartida	VAR	BOOL				2
ppeErr_pte	VAR	DINT				1
ppeTrocaPiso_HMI	VAR	BOOL			Troca de piso de entrada a partir da consola HMI;	2
ppeTrocaP_HMI	VAR	BOOL			Troca de peça do piso de entrada a partir da consola HMI;	2
ppe_DLentaM3C_pte	VAR	DINT			distancia (pte) em mov lento de M3C;	2
ppe_pFim	VAR	BOOL			pulso de fim de prog do piso de entrada em M3C;	2
ppe_PPisoEntrada1	IVAR	SECT_CTRL				0
ppe_PPisoEntrada2	IVAR	SECT_CTRL				0
ppe_tMat	VAR	BOOL			prog piso entrada - troca de material	1
pTrocaProg	VAR	BOOL			PC-HMI pulso de troca de programa;	3
pvgi	VAR	INT				2
pvgTrocaPiso_HMI	VAR	BOOL			Troca piso vagona a partir de HMI;	2
pvg_1Piso	VAR	BOOL			PEA primeiro piso em curso;	4
pvg_uPiso	VAR	BOOL				5
REarrAzero	VAR	BOOL				1
REarrPAvaM3C_di	VAR	DIntArr32			Array de registo de posicoes de avanço da mesa M3C;	0
REarrTAvaM3C_di	VAR	DIntArr32			Array de registo de tempos de avanço da mesa M3C;	0
REarrT_VIR_di	VAR	DIntArr32				0
REi1	VAR	INT				1
REi2	VAR	INT				1
releSD_DESC_aux	VAR	BOOL				2
repContOp	VAR	BOOL			Pulso de reposição de contadores a zero;	2
REreset	VAR	BOOL				2
REresetVIR	VAR	BOOL				2
resENC1	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC1	15
resENC2	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC2	6
resENC3	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC3	2
resENC4	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC4	2
Reset	VAR	BOOL			Reset completo (piso de entrada + piso de vag) a partir da consola HMI;	2
reset_mAvFiada	VAR	BOOL				2
REtAva_M3C_di	VAR	DINT			tempo (dint) de avanço M3C	0
RE_difTPcond	VAR	BOOL				3
RE_difTPi	VAR	INT				7
RE_difTPmed	VAR	BOOL				2
RE_difTP_array	VAR	DIntArr12				2
RE_difTP_di	VAR	DINT				2
RE_difTP_t	VAR	TIME				2
RE_M3CpOFF	VAR	BOOL				1
RE_tAvaM3C	VAR	TIME			tempo (time) de avanço M3C	1
RE_tAvaM3C_b	VAR	BOOL				1
RE_tVIR	VAR	TIME				1
RE_tVIR_di	VAR	DINT				0
RE_VIRpON	VAR	BOOL				3
Sinaliz	IVAR	SECT_CTRL				0
Sistema1	IVAR	SECT_CTRL				0
Sistema2	IVAR	SECT_CTRL				0
tDelay_pUvg	VAR	TIME			Tempo desde a producao da ultima vag (time)	2
tDelay_puvgr	VAR	REAL			Tempo desde a producao da ultima vag (real)	2
TmEstado_ev	VAR	TIME			Tempo (ms) mudança de estado das eletrovalvulas;	16
TmEstado_evEcAlmof	VAR	TIME			Tempo (ms) mudança de estado da	2

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: address)						
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
TmEstado_evEvzAlmof	VAR	TIME			eletrovalvula de encher almodafa; Tempo (ms) mudança de estado da eletrovalvula de esvaziar almodafa;	2
Transf_PLC	IVAR	SECT_CTRL				0
Transpvia3	IVAR	SECT_CTRL				0
TravPisoVag	VAR	BOOL				3
trocaP	VAR	BOOL			Troca de peça do piso de entrada pelo programa do plc;	2
uPPiso	VAR	BOOL				6

IV.4. DFBs (Derived Function Blocks)

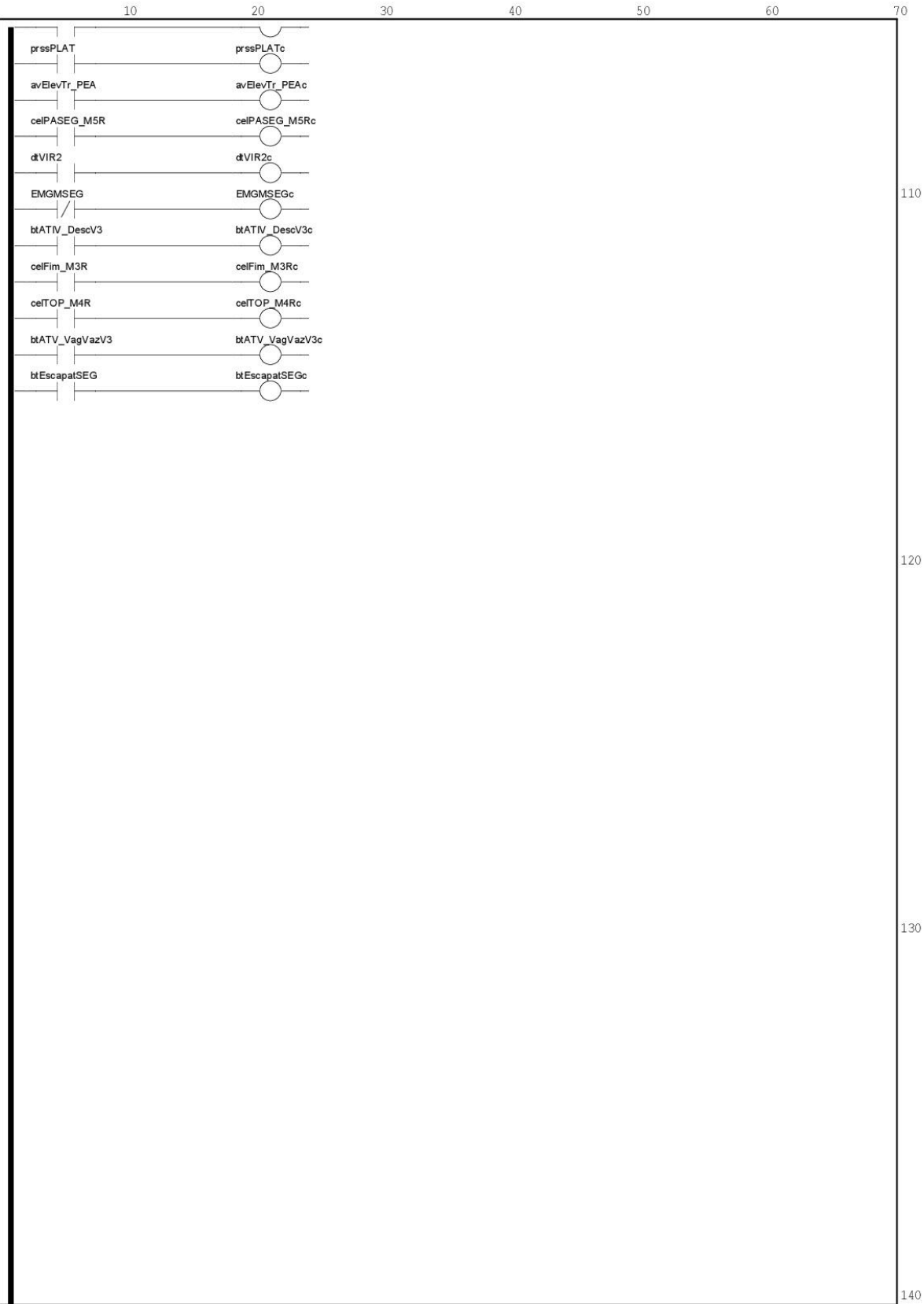
D F B u s a g e				
Name	Version	Used in section	Instance	at
AEC	15-04-1999 10:13:40	AEC1	FBI_3_1	31,5
		AEC1	FBI_3_4	31,37
		AEC2	FBI_2_8	31,5
INTERM	23-02-2016 18:21:24	Sistema	FBI_5_1	11,1
		Sistema	FBI_5_2	11,4
		Sistema	FBI_5_3	11,7
		Sistema	FBI_5_4	11,13
		Sistema	FBI_5_5	11,16
		Sistema	FBI_5_6	11,10
		Transpvia3	FBI_17_39	27,27
ONOFF1BT	15-02-2016 13:47:14	Transpvia3	FBI_17_40	27,30

IV.5 Cópias de entradas

Graph of section copEntradas1

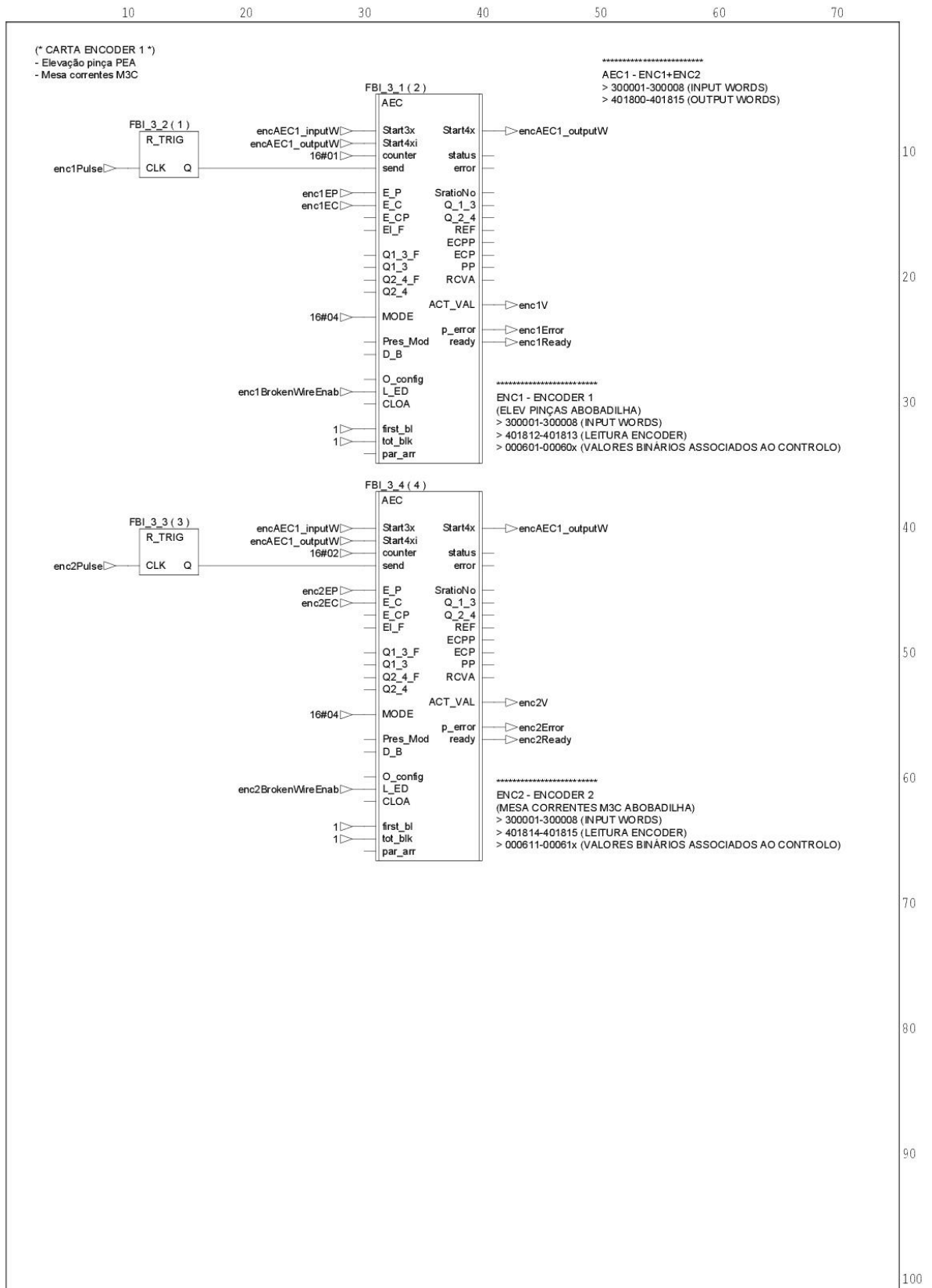


> page 2



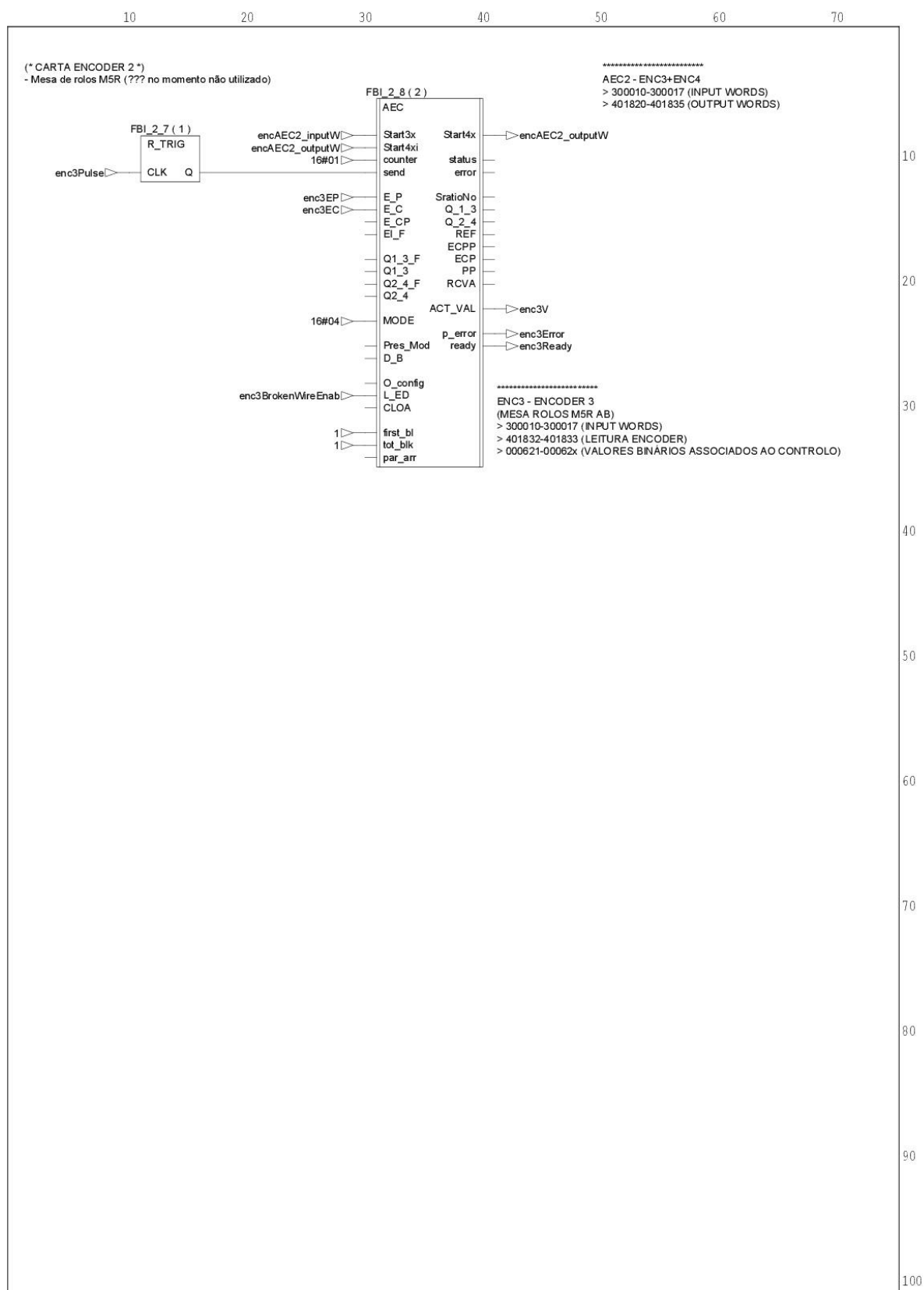
IV.6 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC1

Graph of section AEC1



IV.7 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC2

Graph of section AEC2



IV.8 Transferência de valores das entradas de dados para o PLC

Listing of section Transf_PLC

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* CONVERSÕES E TRANSFERÊNCIA DE VALORES DAS ENTRADAS DE DADOS PARA O PLC *)

(* Conversão do tempo de mudança de estado das eletroválvulas *)
TmEstado_ev := INT_TO_TIME (IN := pcTmEstado_ev);
TmEstado_evEcAlmof := INT_TO_TIME (IN:= pcTmEstado_evEcAlmof);
TmEstado_evEvzAlmof := INT_TO_TIME (IN:= pcTmEstado_evEvzAlmof);

(* Cálculo de resolução de encoders [pte/mm] *)
(* Para calibrar um encoder e obter o rácio que define a resolução [pte/mm], para além do
   cálculo teórico, deve ser medido um deslocamento em [mm]; *)
IF (pcPAR_dpENC1 > 0.0) THEN
  resENC1 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC1) / (3.14159 * pcPAR_dpENC1);
ELSE
  resENC1 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC2 > 0.0) THEN
  resENC2 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC2) / (3.14159 * pcPAR_dpENC2);
ELSE
  resENC2 := 0.0;
END_IF;

(* Encoder 3 montado num carroto livre acionado pela corrente;
   Cálculo compensado pela diferença de diâmetros entre os carretos dos rolos e o diâmetro dos rolos onde se desloca o mat;
   Considerada a existência de 1 carroto fictício cujo diâmetro é introduzido em [pcPAR_dpENC3] para manter o cálculo da
   resENC igual aos outros encoders; valor antigo de 59,26 substituído por 42,97 em 20170524 *)
IF (pcPAR_dpENC3 > 0.0) THEN
  resENC3 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC3) / (3.14159 * pcPAR_dpENC3);
ELSE
  resENC3 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC4 > 0.0) THEN
  resENC4 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC4) / (3.14159 * pcPAR_dpENC4);
ELSE
  resENC4 := 0.0;
END_IF;

(* Conversão de valores de distâncias para pontos do encoder
   Distância em percurso lento da mesa M3C na paragem *)
ppe_LentaM3C_pte := REAL_TO_DINT (IN := resENC2 * INT_TO_REAL (IN := pcDLentaM3C));

(* ARRAYS INTERNOS ASSOCIADOS AO PROGRAMA EM TRABALHO
   Atribuição de valores aos Arrays em função dos valores da entrada de dados *)

(* Alturas dos pisos das vagonas de milímetros para pontos do encoder *)
arrH_pvg[1] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p1vg));
arrH_pvg[2] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p2vg));
arrH_pvg[3] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p3vg));
arrH_pvg[4] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p4vg));
arrH_pvg[5] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p5vg));
arrH_pvg[6] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p6vg));
arrH_pvg[7] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p7vg));
arrH_pvg[8] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p8vg));
arrH_pvg[9] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p9vg));
arrH_pvg[10] := REAL_TO_DINT (IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p10vg));

(* Espaçamento inicial dos pisos de entrada de entrada *)
arrEi_pe[1] := pg06_Ei_p1e;
arrEi_pe[2] := pg07_Ei_p2e;
arrEi_pe[3] := pg08_Ei_p3e;
arrEi_pe[4] := pg09_Ei_p4e;
arrEi_pe[5] := pg10_Ei_p5e;
arrEi_pe[6] := pg11_Ei_p6e;
```

> page 2

```
(* Número de peças dos pisos de entrada *)
arrNP_pe[1] := pg12_NP_p1e;
arrNP_pe[2] := pg13_NP_p2e;
arrNP_pe[3] := pg14_NP_p3e;
arrNP_pe[4] := pg15_NP_p4e;
arrNP_pe[5] := pg16_NP_p5e;
arrNP_pe[6] := pg17_NP_p6e;

(* Travamento (almofada) para a direita dos pisos das vagonas (1=Sim/0=Não) *)
arrTravdir_pvg[1] := pg18_Travdir_plvg;
arrTravdir_pvg[2] := pg19_Travdir_p2vg;
arrTravdir_pvg[3] := pg20_Travdir_p3vg;
arrTravdir_pvg[4] := pg21_Travdir_p4vg;
arrTravdir_pvg[5] := pg22_Travdir_p5vg;
arrTravdir_pvg[6] := pg23_Travdir_p6vg;

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

IV.9 Gestão de programas (1) – Carregamento do programa no PLC

Listing of section g_progEAB1

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* GESTÃO 1 DE PROGRAMAS (MATERIAIS) DA ENFORNA ABOBADILHA *)

(* Transferência do programa armazenado no array progENFAB[20,30] para o programa em utilização *)
IF pTrocaProg = 1 THEN
  FOR iLp := 1 TO 30 DO
    CASE iLp OF
      1: pg01_idmat := progENFAB[idmatS,iLp];
      2: pg02_mat := progENFAB[idmatS,iLp];
      3: pg03_matL := progENFAB[idmatS,iLp];
      4: pg04_matC := progENFAB[idmatS,iLp];
      5: pg05_matA := progENFAB[idmatS,iLp];
      6: pg06_Ei_p1e := progENFAB[idmatS,iLp];
      7: pg07_Ei_p2e := progENFAB[idmatS,iLp];
      8: pg08_Ei_p3e := progENFAB[idmatS,iLp];
      9: pg09_Ei_p4e := progENFAB[idmatS,iLp];
      10: pg10_Ei_p5e := progENFAB[idmatS,iLp];
      11: pg11_Ei_p6e := progENFAB[idmatS,iLp];
      12: pg12_NP_p1e := progENFAB[idmatS,iLp];
      13: pg13_NP_p2e := progENFAB[idmatS,iLp];
      14: pg14_NP_p3e := progENFAB[idmatS,iLp];
      15: pg15_NP_p4e := progENFAB[idmatS,iLp];
      16: pg16_NP_p5e := progENFAB[idmatS,iLp];
      17: pg17_NP_p6e := progENFAB[idmatS,iLp];
      18: pg18_Travdir_p1vg := progENFAB[idmatS,iLp];
      19: pg19_Travdir_p2vg := progENFAB[idmatS,iLp];
      20: pg20_Travdir_p3vg := progENFAB[idmatS,iLp];
      21: pg21_Travdir_p4vg := progENFAB[idmatS,iLp];
      22: pg22_Travdir_p5vg := progENFAB[idmatS,iLp];
      23: pg23_Travdir_p6vg := progENFAB[idmatS,iLp];
      24: pg24_dEvq := progENFAB[idmatS,iLp];
      25: pg25_LPiso := progENFAB[idmatS,iLp];
      26: pg26_Npvg := progENFAB[idmatS,iLp];
      27: pg27_Npe := progENFAB[idmatS,iLp];
      28: pg28_Reserva := progENFAB[idmatS,iLp];
      29: pg29_Reserva := progENFAB[idmatS,iLp];
      30: pg30_Reserva := progENFAB[idmatS,iLp];
    END_CASE;
  END_FOR;
  IF pTrocaProg = 1 THEN
    FOR iLp := 1 TO 30 DO
      progENFABt[iLp] := progENFAB[idmatS,iLp];
    END_FOR;
  END_IF;
END_IF;
```

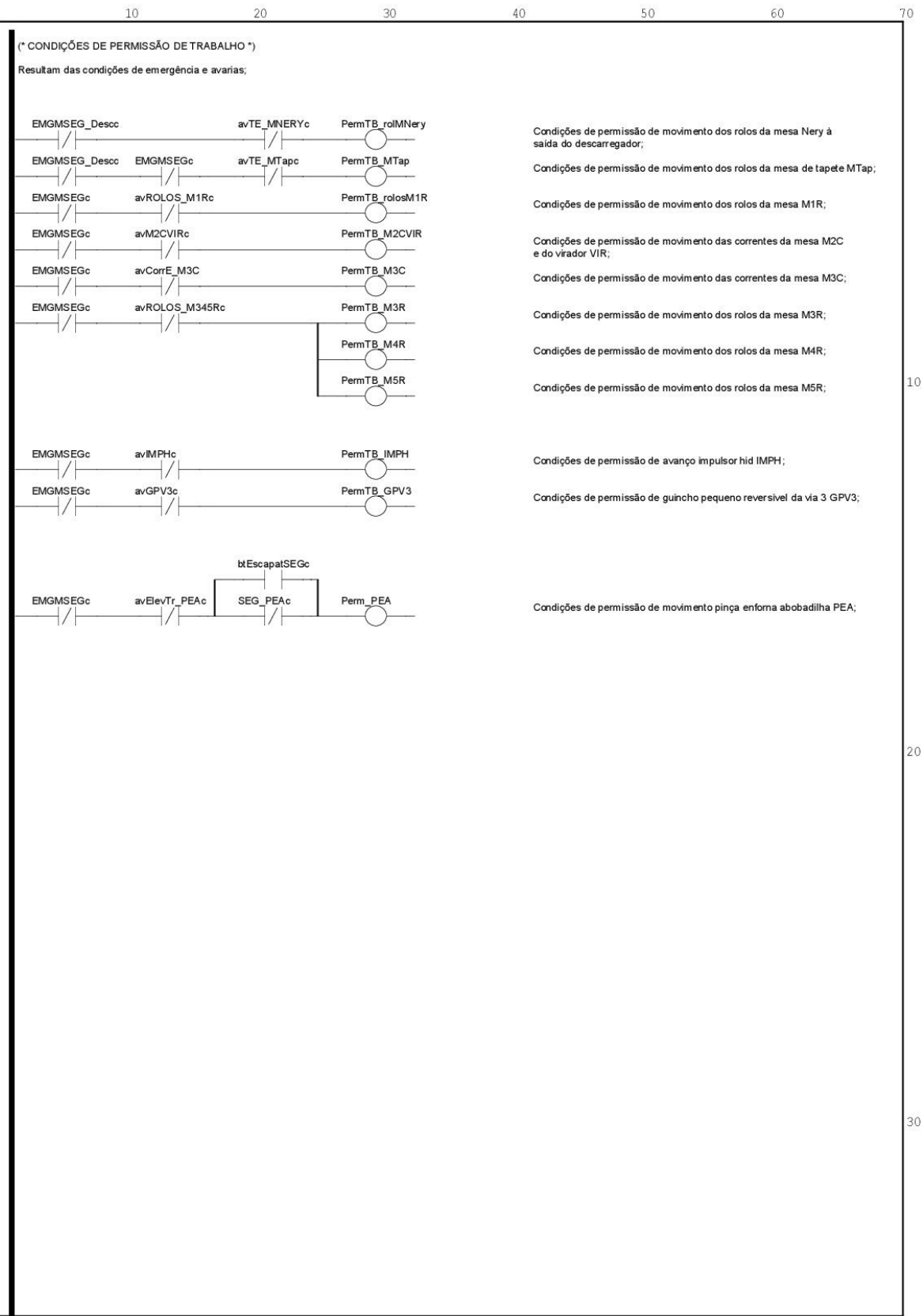
IV.10 Gestão de programas (2) - Atualização de programa temporário

Listing of section g_progEAB2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««  
(* ATUALIZAÇÃO PROGRAMA TEMPORÁRIO *)  
  
IF pAltProg = 1 THEN  
  FOR iLp := 1 TO 30 DO  
    progENFAB[idmatS,iLp] := progENFABt[iLp];  
  END_FOR;  
END_IF;  
»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

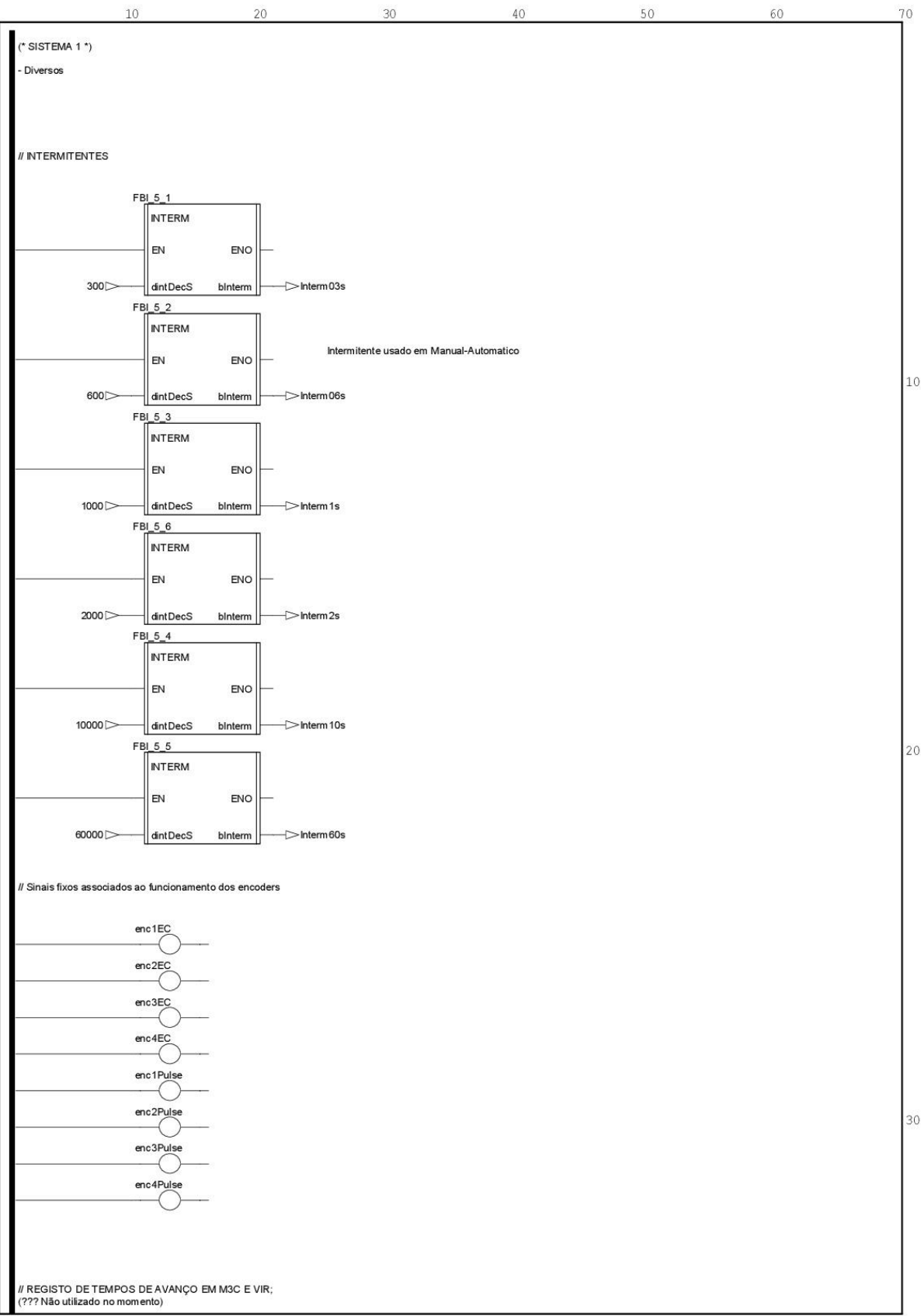

IV.11 Condições de permissão de trabalho

Graph of section PermTB



IV.12 Sistema (1)

Graph of section Sistemal



> page 2

IV.13 Sistema (2)

Listing of section Sistema2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* SISTEMA 2 *)
(* Diversos *)

(* // Medição do intervalo de tempo no avanço da mesa M3C
    Não utilizado no momento

RetAva_M3C_di := TIME_TO_DINT' (IN := RE_tAvaM3C);
IF mtVIR = 1 THEN
    RE_tVIR_di := TIME_TO_DINT' (IN := RE_tVIR);
END_IF;
IF RE_M3CpOFF = 1 THEN
    REarrTavaM3C_di[REi1] := RetAva_M3C_di;
    REarrPavaM3C_di[REi1] := enc2V;
END_IF;

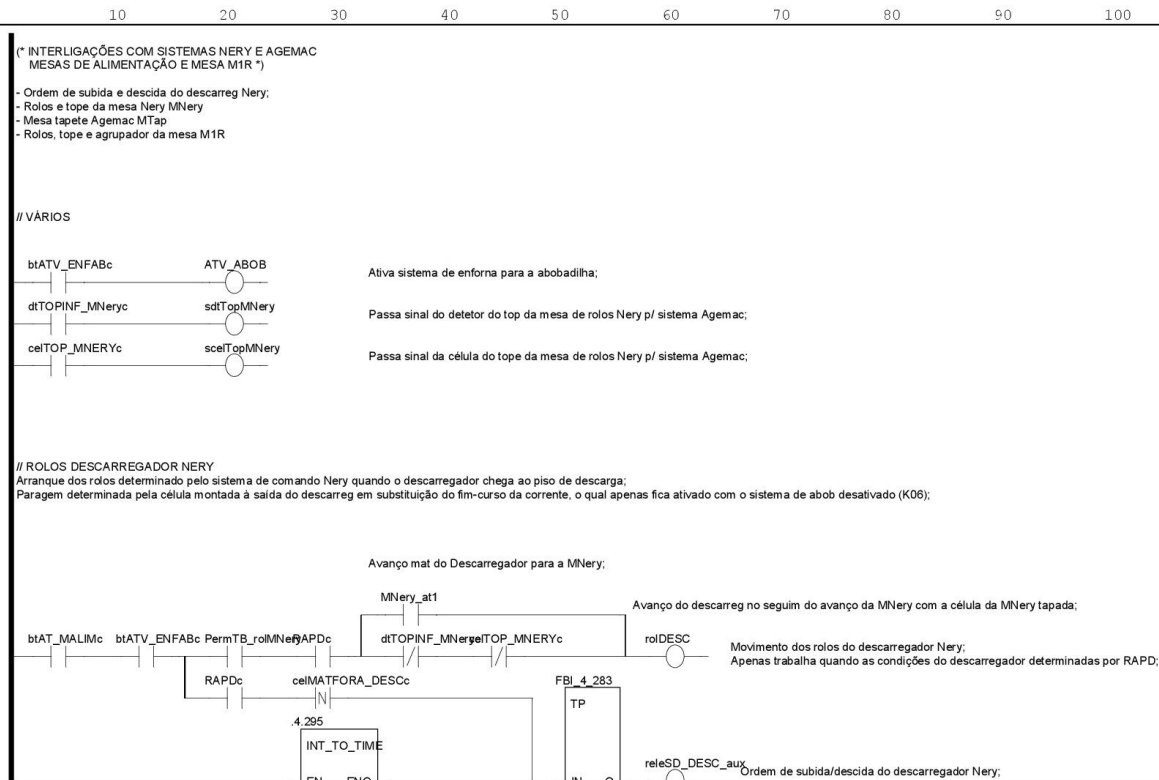
IF mtVIR = 1 THEN
    IF RE_VIRPON = 1 THEN
        REarrT_VIR_di[REi2] := RE_tVIR_di;
    END_IF;
END_IF; *)

(* Coloca os arrays a zero
IF REarrAzero = 1 THEN
    FOR REi2:=1 TO 32 DO
        REarrTavaM3C_di[REi2] := 0;
        REarrPavaM3C_di[REi2] := 0;
        REarrT_VIR_di[REi2] := 0;
    END FOR;
END_IF; *)

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

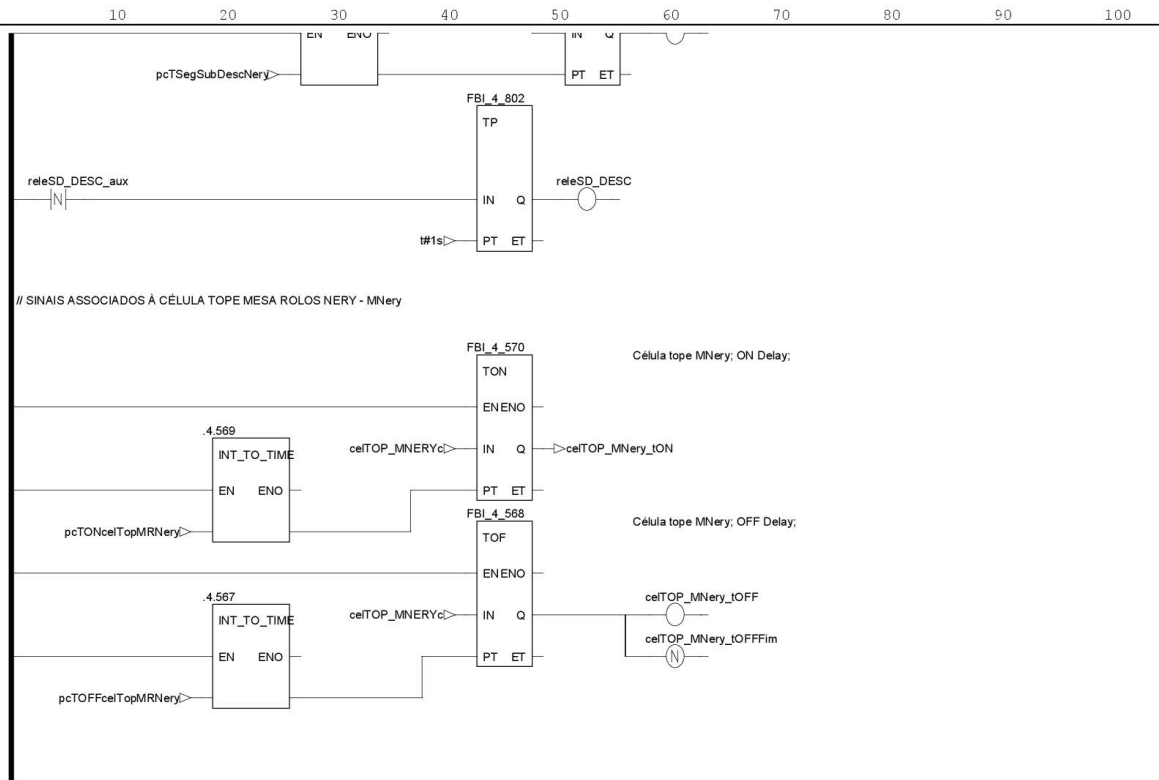
IV.14 Mesas de alimentação

Graph of section MALinM1R

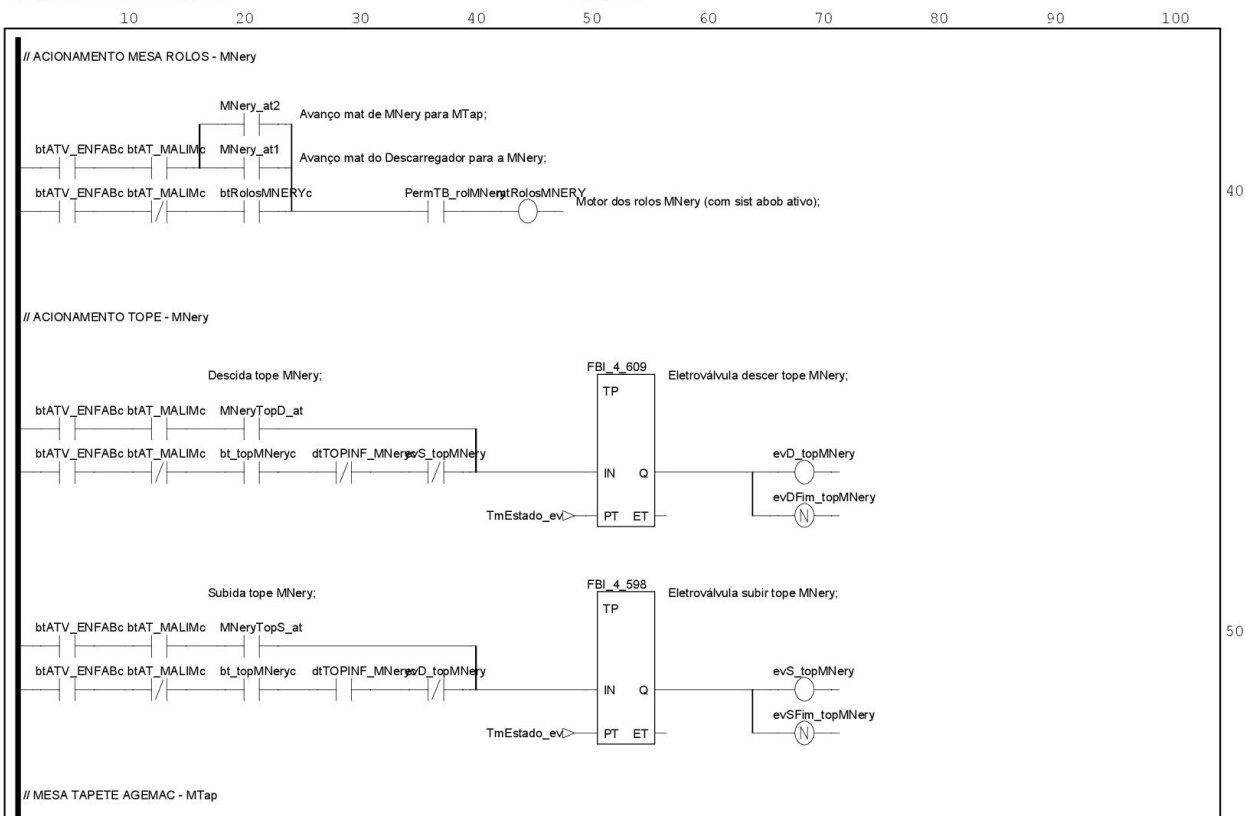


page: 1

Graph of section MALinM1R

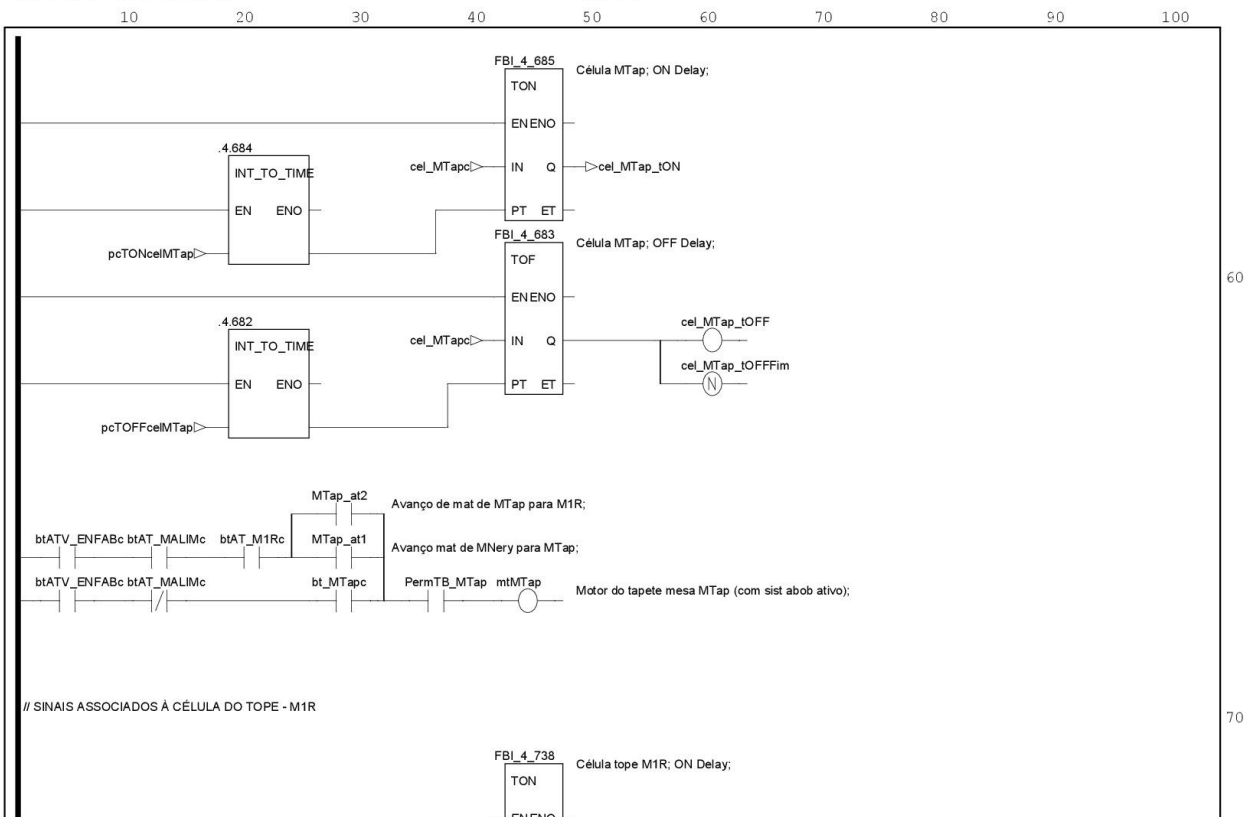


page: 2



> page 4

page: 3

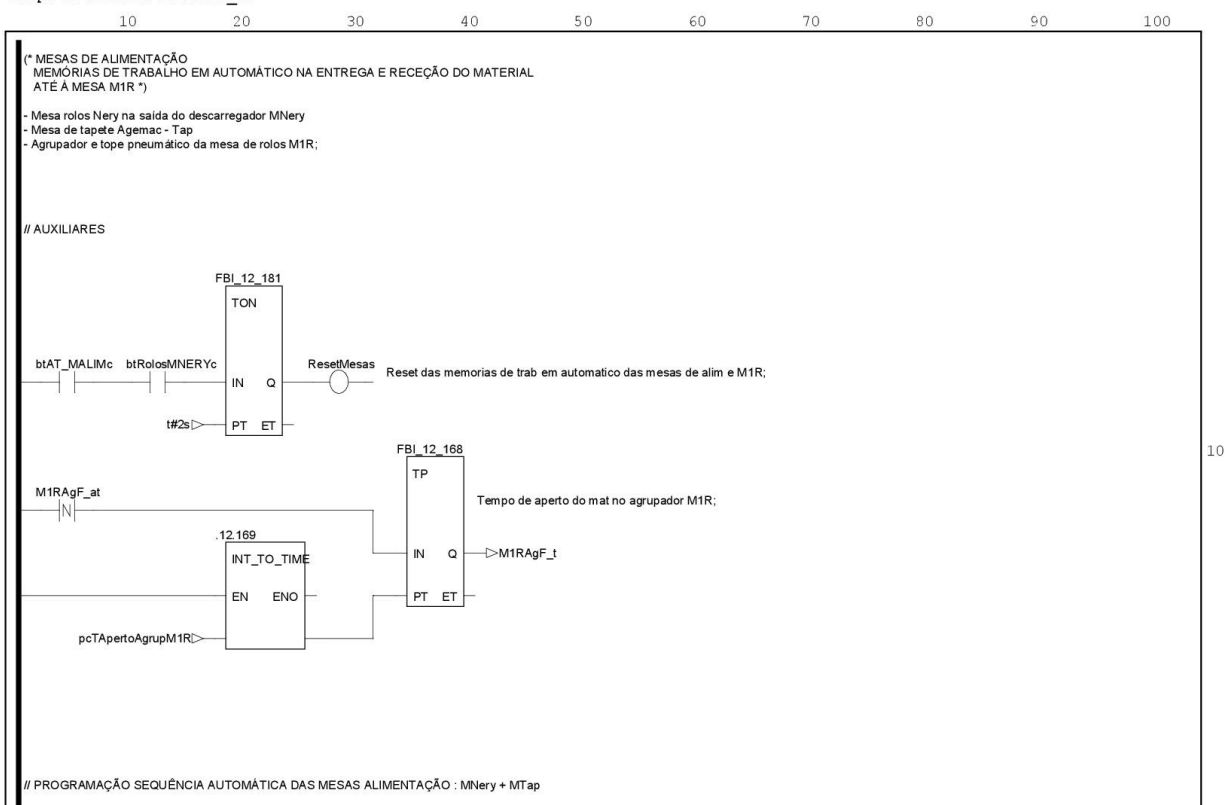


> page 5

page: 4

IV.15 Mesas de alimentação – Sequência automática

Graph of section MAlimM1R_at

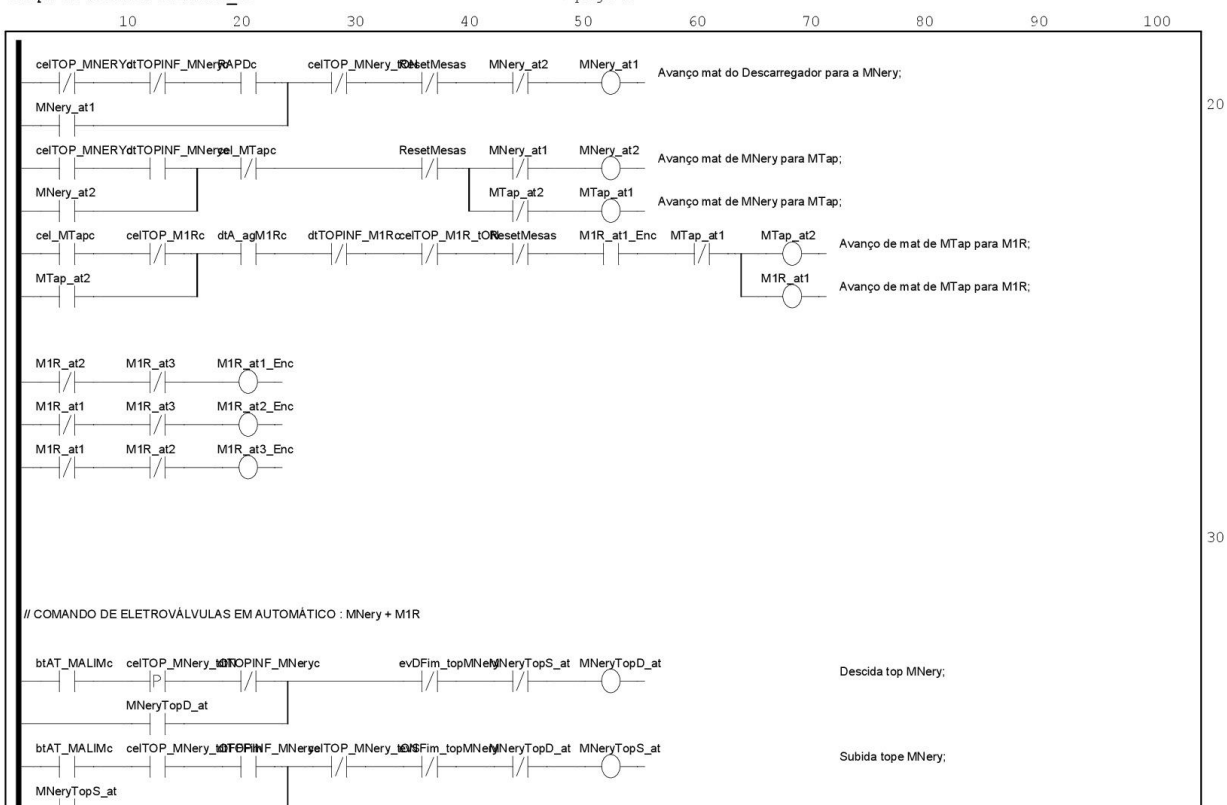


> page 2

page: 1

Graph of section MAlimM1R_at

< page 1

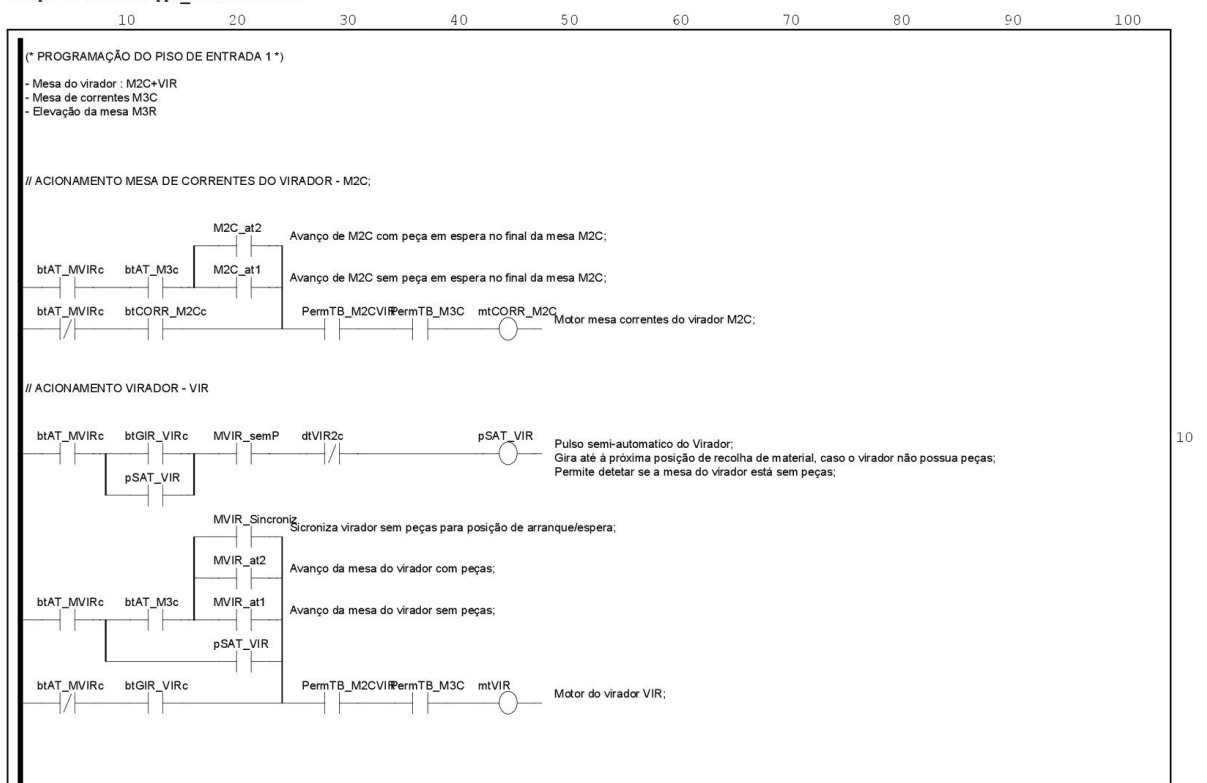


> page 3

page: 2

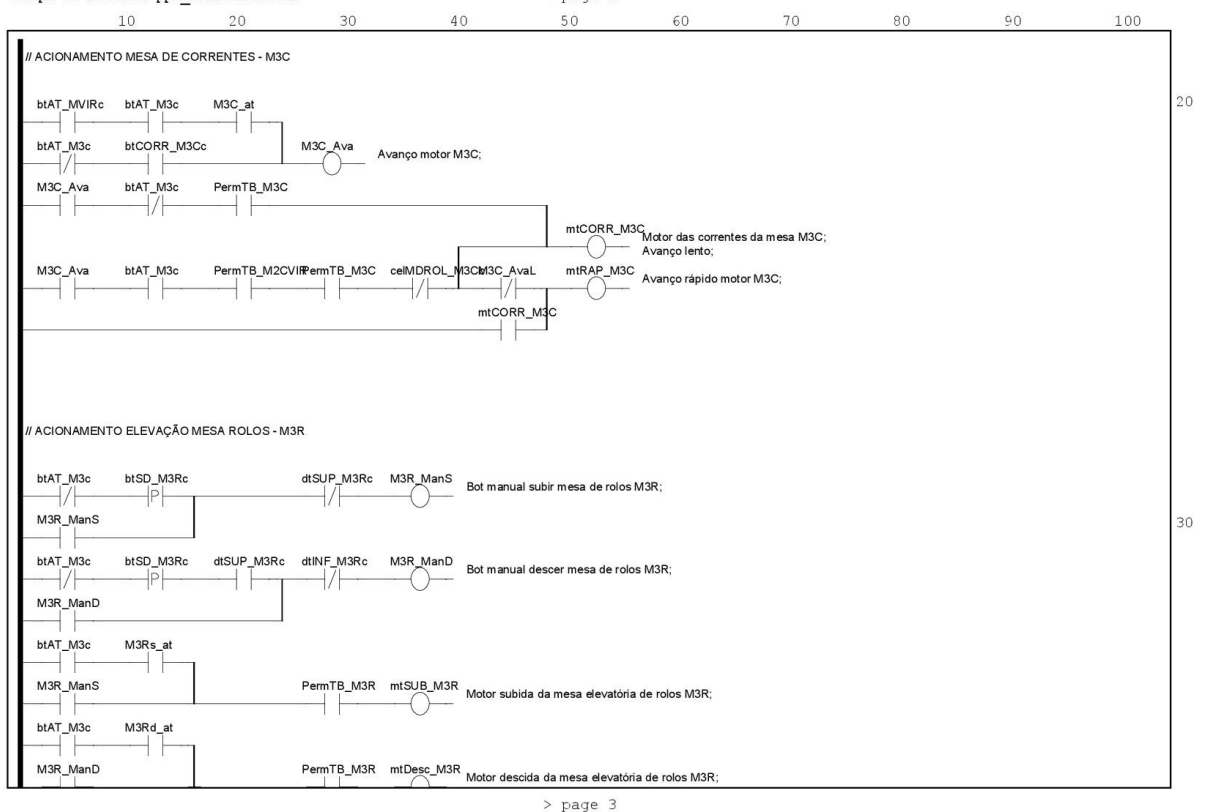
IV.16 Programação do piso de entrada (1)

Graph of section ppe_PPisoEntrada1



page: 1

Graph of section ppe_PPisoEntrada1



page: 2

IV.17 Programação do piso de entrada (2)

Listing of section ppe_PPisoEntrada2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* PROGRAMAÇÃO DO PISO DE ENTRADA 2 *)

(* Variáveis de programação de piso de entrada
  A designação "piso de entrada" serve para distinguir de "piso de vagona", uma vez que o piso de
  entrada leva 3 fiadas enquanto o piso de vagona leva apenas 2;
  Se futuramente optar-se pela introdução dos ganços na mesa M1R, para desmultiplicar as 3 fiadas
  que saem do elevador para apenas 2 fiadas, então os pisos de entrada passarão a ser iguais aos
  pisos das vagonas;

NOMENCLATURAS
pe - Piso de entrada (piso programado nas mesas do virador e M3C);
pvg - Piso da vag (piso enformado na vagona);

Para a programação do piso de entrada (virador, M2c e M3C) trabalhar em automático,
o sistema tem de saber:
- qual a peça do piso de entrada (ppe_PC) associados ao próximo movimento;
- Não sendo possível o piso deve ser concluído em modo manual, o que implica o avanço das peças
  manualmente nas mesas M2C e M3C enquanto que o virador vai alimentando a programação;
- Ao declarar o novo material o sistema assume que o próximo piso é o primeiro;
- A troca de material só pode acontecer com M3C em manual e sem peças em M3C;

Ao parar M3C o sistema:
1. faz o reset do encoder 2 (mesa correntes M3C);
2. se é última peça do piso (ppeC_P = ppeC_NP) então muda para próximo piso;
3. Se é a última peça do último piso (ppeC_P = ppeC_NP e ppeC_PI = ppeC_NPI) então
  muda para a primeira peça da próxima vagona;

VARIÁVEIS QUE ENTRAM NA PROGRAMAÇÃO DOS PISOS DE ENTRADA DA VAGONA (ppe_):
i) FIXADAS INICIALMENTE:
pcPAR_dEvg - pc Distancia (mm) entre eixo inicial da mesa M3C ao eixo da vagona (INT);
pciMaxPiso - pc Largura maxima (mm) do piso a usar como constante(INT);
pcNpe - pc Numero de pisos de entrada (INT);
pcMAT_A - pc Altura (mm) do material em producao (INT);
pcDLentaM3C - pc Distancia (mm) de aproximacao em velocidade lenta na paragem de M3C (INT);
arrEi_pe - Array - Espacamento inicial (mm) dos pisos de entrada (DINT);
arrNP_pe - Array - numero peças dos pisos de entrada (INT);

ii) EM CURSO (VARIAM COM O AVANÇO DAS PEÇAS E DOS PISOS):
ppeC_NP - quantidade de peças do piso de entrada em curso (INT);
ppeC_Ei - espaçamento inicial (mm) do piso em curso (INT);
ppeC_PI - piso em curso na programação do piso de entrada (INT);
ppeC_P - peça em curso do piso de entrada (INT);
ppeC_Lef - comprimento efetivo (mm) total do piso de entrada (sem os espaçamentos nas extremidades) (REAL);
ppeC_Ec - espaçamento central (mm) do piso de entrada (REAL);
ppeC_E - espaçamento (mm) a executar a seguir no piso de entrada (REAL);
ppeC_F - espaçamento final (mm) a executar no piso de entrada em curso; (REAL);

iii) VARIÁVEIS FLAG
ppe_tMat - troca de material (BOOL);
avaP_M1R - autoriza o avanço de peça em M1R (BOOL);
          mesa M3C disponível para receber peças;
ppe_finM3C - fim de peça e/ou piso (BOOL);
*)

VAR
  rTrig_tMat : R_TRIG;
  (* rTrig_finM3C : R_TRIG; *)
END VAR
rTrig_tMat (CLK := ppe_tMat);
(* rTrig_finM3C (CLK := ppe_finM3C); *)

(* Troca de material *)
IF Reset = 1 THEN
  ppeC_P := 1;
  ppeC_PI := 1;
  ppeC_Ei := arrEi_pe[1];
  ppeC_NP := arrNP_pe[1];
  ppeC_Lef := INT_TO_REAL (IN := pg25_LPiso - 2 * ppeC_Ei);
  ppeC_Ec := (ppeC_Lef - INT_TO_REAL (IN := ppeC_NP * pg05_matA)) / (INT_TO_REAL (IN := ppeC_NP - 1));
  ppeC_E := INT_TO_REAL (IN := pg05_matA) + ppeC_Ec;
  ppeC_E_pte := REAL_TO_DINT (IN := ppeC_E * resENC2) - 150; (*introduzir erro aqui*)
  ppeC_F := INT_TO_REAL (IN := pg24_dEvg) - ppeC_Lef / 2.0 + INT_TO_REAL (IN := pg05_matA);
  pvgC := 1;
  pvgC_travdir := INT_TO_BOOL (IN := arrTravdir_pvg[1]);
END IF;

(* Troca de peça e/ou piso no piso de entrada pelo programa *)
```

> page 2

page: 1

```

IF trocaP = 1 OR ppeTrocaP_HMI = 1 THEN
  IF ppeC_P = ppeC_NP THEN (* final do piso de entrada *)
    ppeC_P := 1;
    IF ppeC_PI = pg27_Npe THEN (* último piso de entrada *)
      ppeC_PI := 1;
    ELSE (* troca de piso de entrada *)
      ppeC_PI := ppeC_PI + 1;
    END_IF;
    FOR il := 1 TO pg27_Npe DO
      IF il = ppeC_PI THEN
        ppeC_Ei := arrEi_pe[il];
        ppeC_NP := arrNP_pe[il];
      END_IF;
    END_FOR;
    ELSE (* troca de peça no piso de entrada *)
      ppeC_P := ppeC_P + 1;
    END_IF;
    ppeC_Lef := INT_TO_REAL (IN := pg25_LPiso - 2 * ppeC_Ei);
    ppeC_Ec := (ppeC_Lef - INT_TO_REAL (IN := ppeC_NP * pg05_mata)) / (INT_TO_REAL (IN := ppeC_NP - 1));
    IF ppeC_P < ppeC_NP THEN
      ppeC_E := INT_TO_REAL (IN := pg05_mata) + ppeC_Ec;
    ELSE
      ppeC_E := INT_TO_REAL (IN := pg24_dEvg) - ppeC_Lef / 2.0 + INT_TO_REAL (IN := pg05_mata);
    END_IF;
    ppeC_E_pte := REAL_TO_DINT (IN := ppeC_E * resENC2) - 150; (*introduzir erro aqui*)
    ppeC_F := INT_TO_REAL (IN := pg24_dEvg) - ppeC_Lef / 2.0 + INT_TO_REAL (IN := pg05_mata);
  END_IF;

  (* Troca de piso de entrada pelo HMI *)
  IF ppeTrocaPiso_HMI = 1 THEN
    ppeC_P := 1;
    IF ppeC_PI = pg27_Npe THEN
      ppeC_PI := 1;
    ELSE
      ppeC_PI := ppeC_PI + 1;
    END_IF;
    FOR il := 1 TO pg27_Npe DO
      IF il = ppeC_PI THEN
        ppeC_Ei := arrEi_pe[il];
        ppeC_NP := arrNP_pe[il];
      END_IF;
    END_FOR;
    ppeC_Lef := INT_TO_REAL (IN := pg25_LPiso - 2 * ppeC_Ei);
    ppeC_Ec := (ppeC_Lef - INT_TO_REAL (IN := ppeC_NP * pg05_mata)) / (INT_TO_REAL (IN := ppeC_NP - 1));
    ppeC_E := INT_TO_REAL (IN := pg05_mata) + ppeC_Ec;
    ppeC_E_pte := REAL_TO_DINT (IN := ppeC_E * resENC2) - 150; (*introduzir erro aqui*)
  END_IF;

  (* Definição M3C_AvaL - avanço de M3C em velocidade lenta *)
  IF encZV > ppeC_E_pte - ppe_DLentaM3C_pte THEN
    M3C_AvaL := 1;
  ELSE
    M3C_AvaL := 0;
  END_IF;

  (* Variáveis para assinalar primeiro e última peça na construção do piso de entrada *)
  IF ppeC_P = ppeC_NP THEN
    uPPiso := 1;
  ELSE
    uPPiso := 0;
  END_IF;

  (* Ordem de paragem da mesa M3C por posição do encoder *)
  IF encZV > ppeC_E_pte THEN
    M3C_stopEnc := 1;
  ELSE
    M3C_stopEnc := 0;
  END_IF;

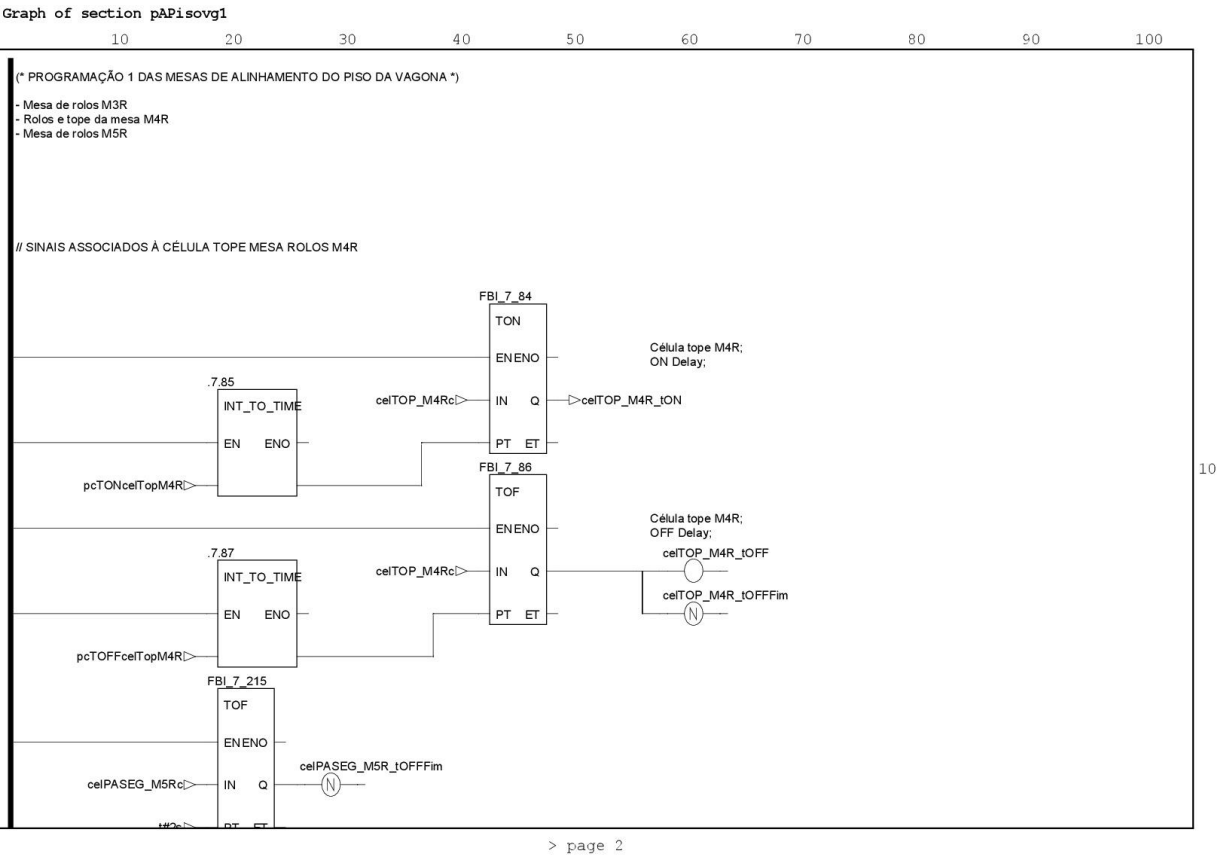
  (* Deteta arranque do virador com 3 peças *)
  IF ContPecasVir = 2 THEN
    PAVirCom2P := 1;
  ELSE
    PAVirCom2P := 0;
  END_IF;

  (* Código de análise de processo - tempos *)
  (* Colocação em array do intervalo de tempo entre a paragem da mesa M3C e a chegada
  de uma nova peça à célula depois do virador;

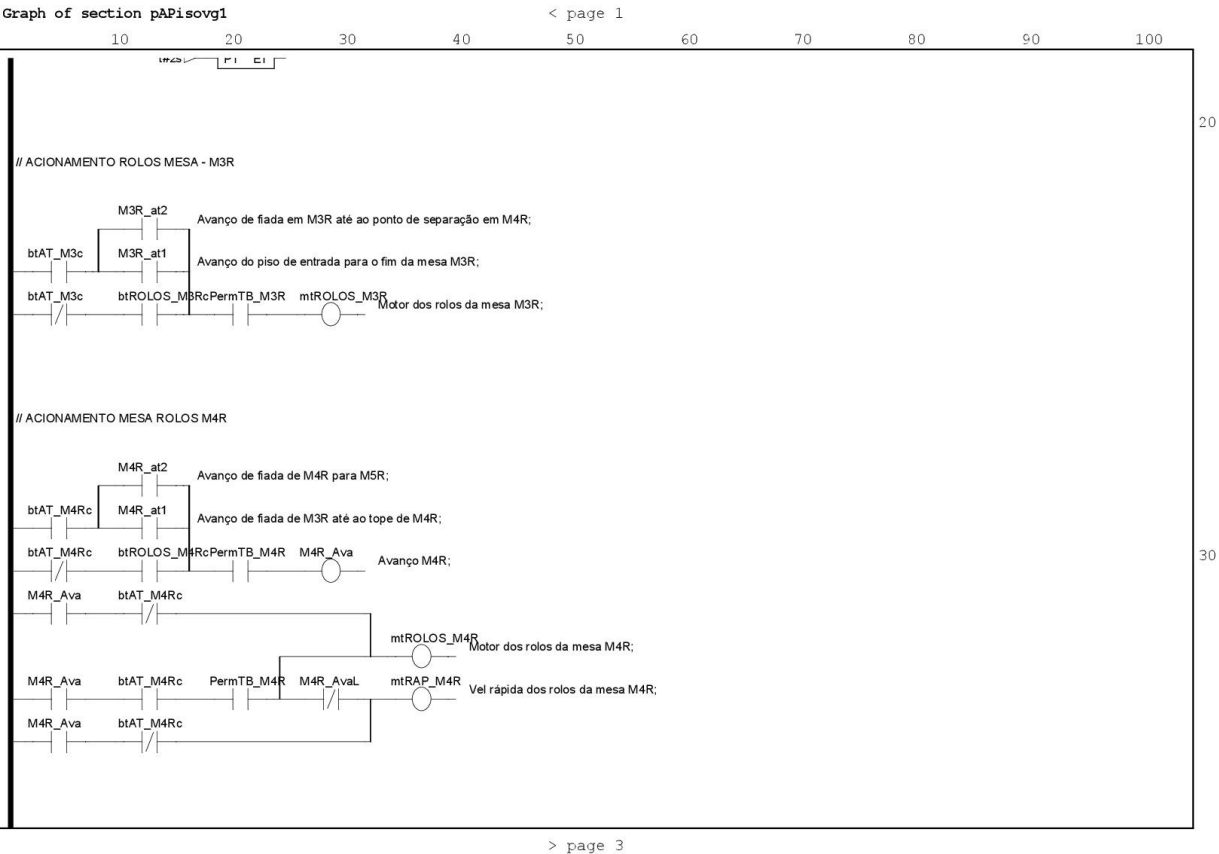
```

[illegible]

IV.18 Programação das mesas de alinhamento do piso da vagona (1)



page: 1



page: 2

IV.19 Programação das mesas de alinhamento do piso da vagona (2)

Listing of section pAPisovg2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* PROGRAMAÇÃO 2 DAS MESAS DE ALINHAMENTO DO PISO DA VAGONA *)

(* Variáveis de programação do alinhamento do piso da vagona

NOMENCLATURAS
apvg - Alinhamento do piso nas mesas de rolos (M3R, M4R e M5R);
pvg - Piso da vag (piso enforcado na vagona); *)

(* Fiada em curso para construção do piso de vagona
Sem utilização *)
IF M5R_trocaF = 1 THEN
  apvg_fc := 1;
END_IF;

(*
IF apvg_fc = 1 THEN
  apvg_PaFc := INT_TO_REAL(IN := pcEspFpvg - (pcDtopCelReset - pcMAT_L));
  apvg_PaFc_pte := REAL_TO_DINT (IN := apvg_PaFc * resENC3);
ELSIF apvg_fc = 2 THEN
  apvg_PaFc := INT_TO_REAL(IN := pcDExoCpvg - pcDtopCelReset + (pcEspFpvg / 2) + pcMAT_L);
  apvg_PaFc_pte := REAL_TO_DINT (IN := apvg_PaFc * resENC3);
ELSE
  apvg_PaFc := 0.0;
  apvg_PaFc_pte := 0;
END_IF;

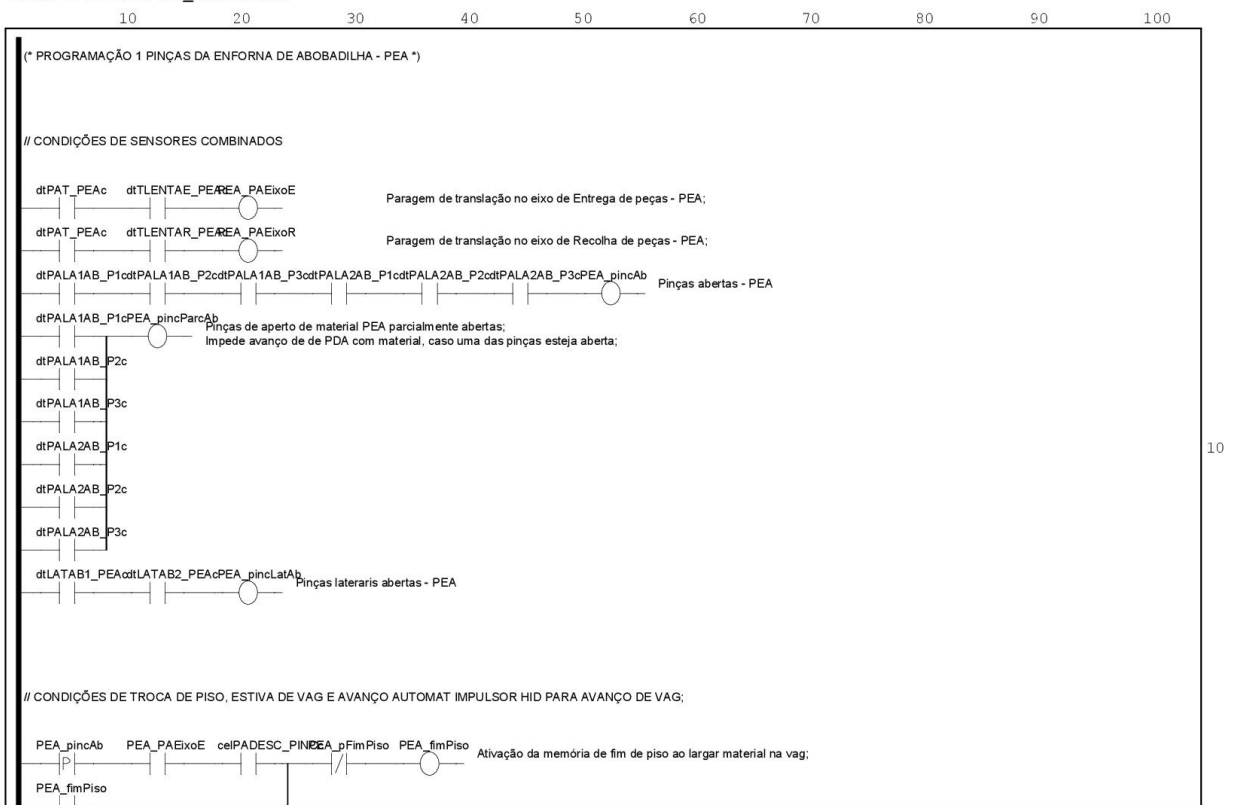
Ordem de paragem de M5R por posição do encoder
IF enc3V > apvg_PaFc_pte THEN
  M5R_stopEnc := 1;
ELSE
  M5R_stopEnc := 0;
END_IF;
*)

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

page: 1

IV.20 Programação pinças da enfora de abobadilha (1)

Graph of section PEA_PEnforaAb1

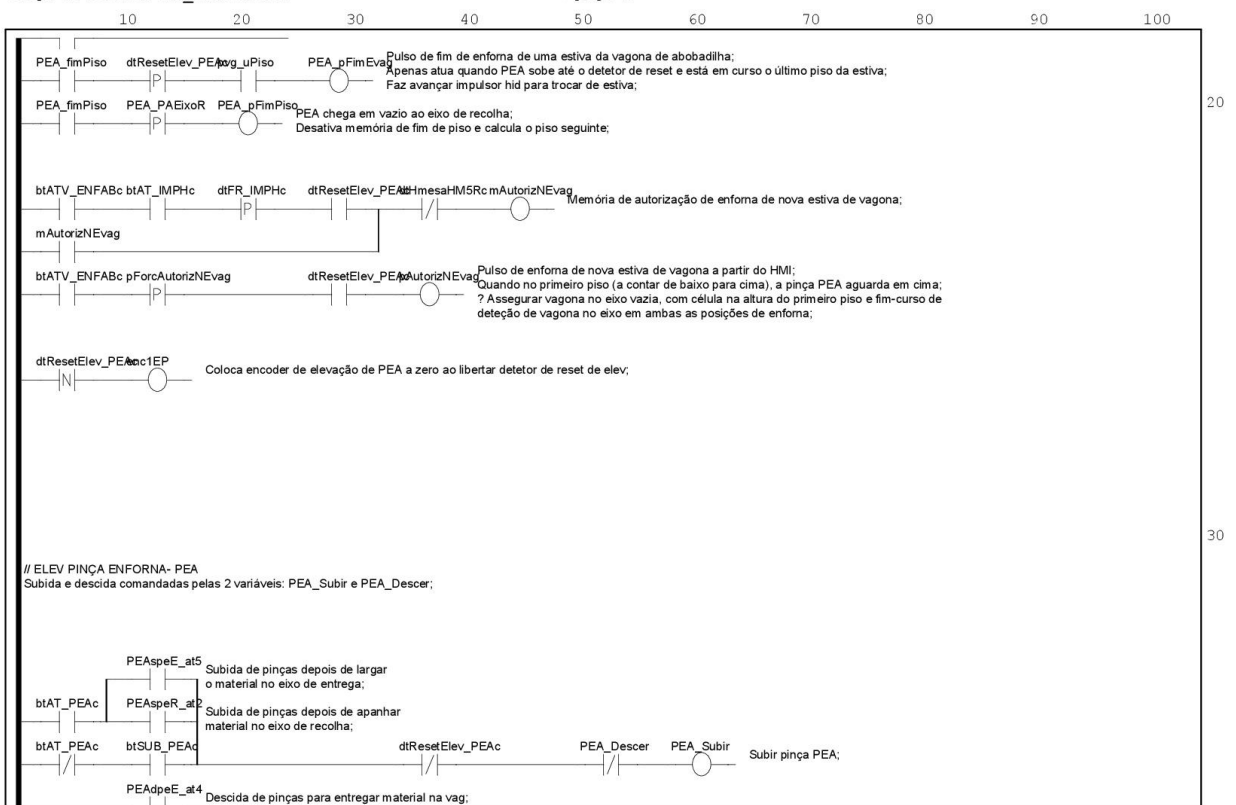


> page 2

page: 1

Graph of section PEA_PEnforaAb1

< page 1



> page 3

page: 2

IV.21 Programação pinças da enfora de abobadilha (2)

Listing of section PEA_PEnforaAb2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* PROGRAMAÇÃO 2 PINÇAS DA ENFORA DE ABOBADILHA - PEA *)

(* Programação de Pinça de Enfora de Abobadilha - PEA
Reset encoder - Ao chegar a cima com material na carga do último piso da vag;
troca de vag (trocaVg) - Ao chegar a cima sem material após descarregar último piso na vag;
Posição de espera com material - Pinça com material no eixo de descarga em cima;
Posição de espera sem material - Pinça sem material no eixo de carga em cima;

Nomenclaturas:
pt - pontos de encoder;
pvg - Piso da vag (piso enforcado na vagona);

(* Calcula em pontos do encoder (pte), as distâncias fixas associadas a PDA *)
PEA_ptDescL := REAL_TO_DINT(IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcDLentaPEA)); (* distância de aproximação em vel lenta *)
PEA_ptHMRc := REAL_TO_DINT(IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcHMRcPEA)); (* altura mesa de recolha de material *)
PEA_ptHSegRH := REAL_TO_DINT(IN := resENC1 * INT_TO_REAL (IN := pcHSegRH_PEA)); (* altura seg de recuo horiz da pinça *)

(* Segurança de impedimento de mov retorno da pinça abaixo da altura definida *)
IF enc1V > PEA_ptHSegRH THEN
    PEA_SegRH := 1;
ELSE
    PEA_SegRH := 0;
END_IF;

(* Troca de pisos e atualização de variáveis associadas pelo programa ou HMI *)
IF PEA_pimPiso = 1 OR pvgTrocaPiso_HMI = 1 THEN (* Pulso troca de piso definido no momento descarga do piso no eixo de entrega *)

    IF pvgC < pg26_Npvg THEN
        pvgC := pvgC + 1;
        pvgC_travdir := INT_TO_BOOL (IN := arrTravdir_pvg[pvgC]);
    ELSE
        pvgC := 1;
        pvgC_travdir := INT_TO_BOOL (IN := arrTravdir_pvg[1]);
    END_IF;
END_IF;

IF pvgC = pg26_Npvg THEN (* condição de último piso em curso *)
    pvg_uPiso := 1;
ELSE
    pvg_uPiso := 0;
END_IF;
IF pvgC = 1 THEN (* condição de primeiro piso em curso *)
    pvg_lPiso := 1;
ELSE
    pvg_lPiso := 0;
END_IF;

(* Segurança de permissão para fechar pinças no eixo e piso da vag em função da posição vertical das pinças
Evita o fecho inadvertido das pinças com a atuação da célula de paragem *)
(*IF (PDAe_at7 = 1 AND PDA_Enc > PDA_ptHDescV) THEN
(* PDA_PAdesc := 1;

(*END_IF;*)

(* Valores das variáveis (PEA_pAlmofD e PEA_pAlmofE) que definem a posição inicial da almofada ao fechar as pinças de PEA;
Almofada deslocada para o lado do menor espaçamento inicial do piso da vagona ao fechar as pinças PEA;
Nesta fase, apenas considerar que a almofada deve estar deslocada para o lado direito ao fechar pinças PEA; *)

(* Define movimentos em vel lenta na descida de PEA *)
IF (PEA_PAEixoR = 1) AND (enc1V > PEA_ptHMRc - PEA_ptDescL) THEN (* No eixo de recolha de material *)
    PEA_DescL := 1;
ELSIF (PEAdpeE_at4 = 1) AND (enc1V > arrH_pvg[pvgC] - PEA_ptDescL) THEN (* No eixo de entrega de material *)
    PEA_DescL := 1;
ELSE
    PEA_DescL := 0;
END_IF;

(* Segurança abrir pinças; Comprovar a necessidade; Inverter condição? *)
IF btAT_PEAe = 1 THEN
FOR pvgi := 1 TO pg26_Npvg DO
    IF pvgC = pvgi THEN
        IF PEA_PAEixoE = 1 AND (enc1V > arrH_pvg[pvgC] - PEA_ptDescL) THEN
            PEA_segAbrir := 1;
        ELSE

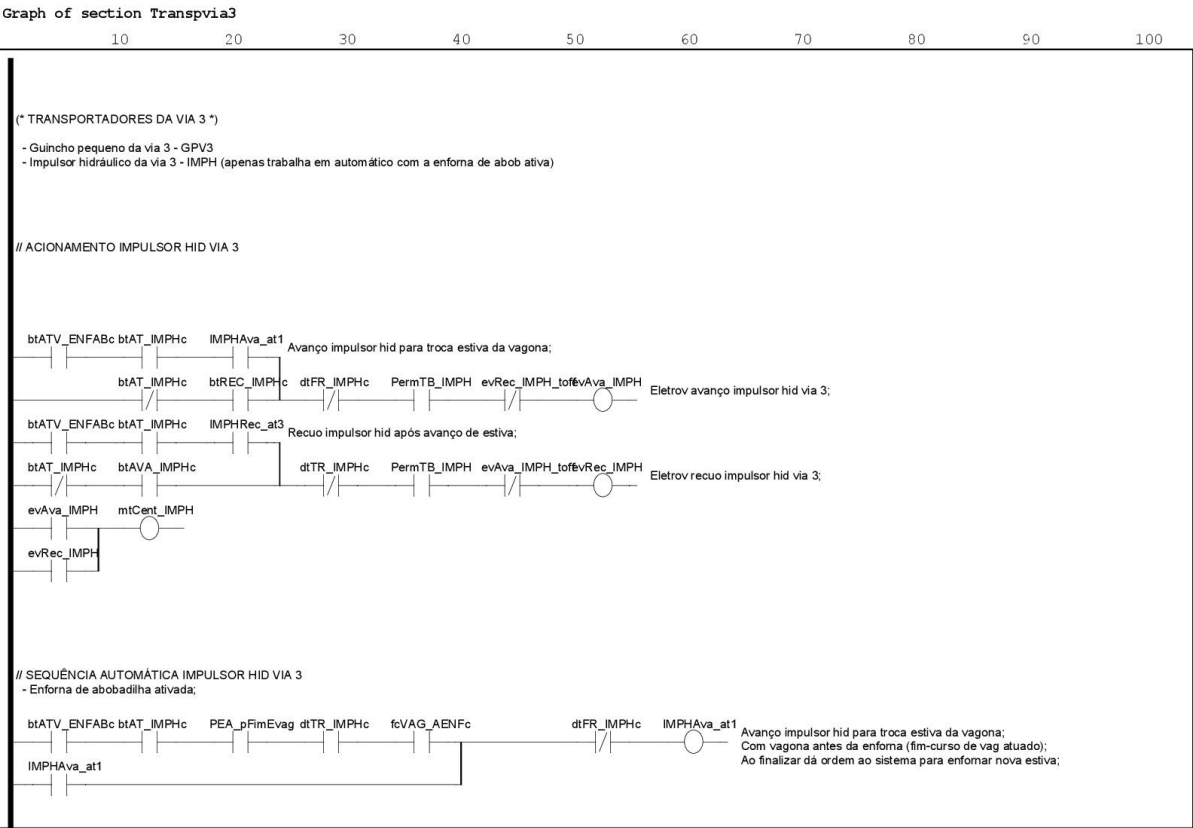
```

> page 2

page: 1

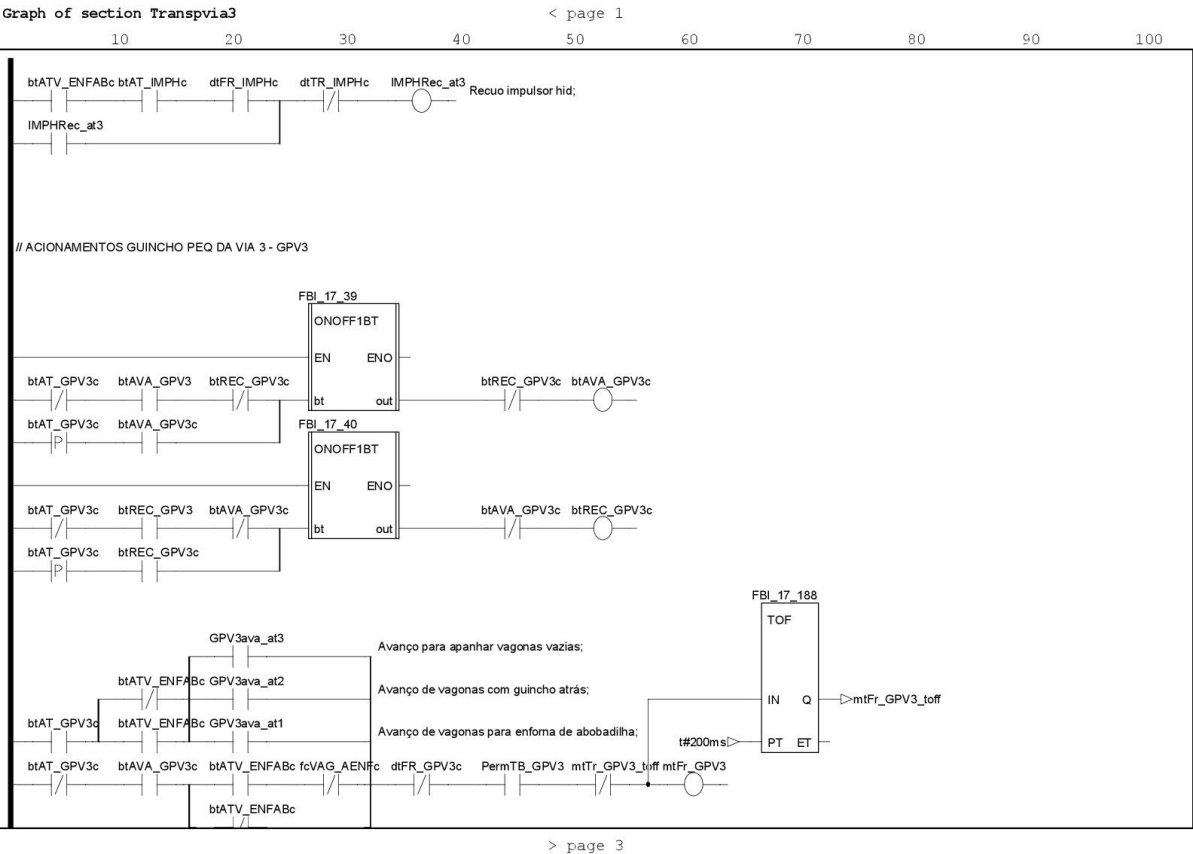

```
        PEA_segAbrir := 0;  
    END_IF;  
END_IF;  
END_FOR;  
ELSE  
    PEA_segAbrir := 0;  
END_IF;  
»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

IV.22 Transportadores da via 3



> page 2

page: 1



> page 3

page: 2

IV.23 Controlo da produção (1)

Listing of section ContProd1

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* CONTROLO DA PRODUÇÃO 1 *)

(* CALCULA A DATA EM FORMATO DE 8 DIGITOS - ANO&MES&DIA - COMPATIVEL COM O SQL *)
DATA := INT_TO_UDINT (IN := 2000 + ANO) * 10000 + (INT_TO_UDINT (IN := MES)) * 100 + INT_TO_UDINT (IN := DIA);

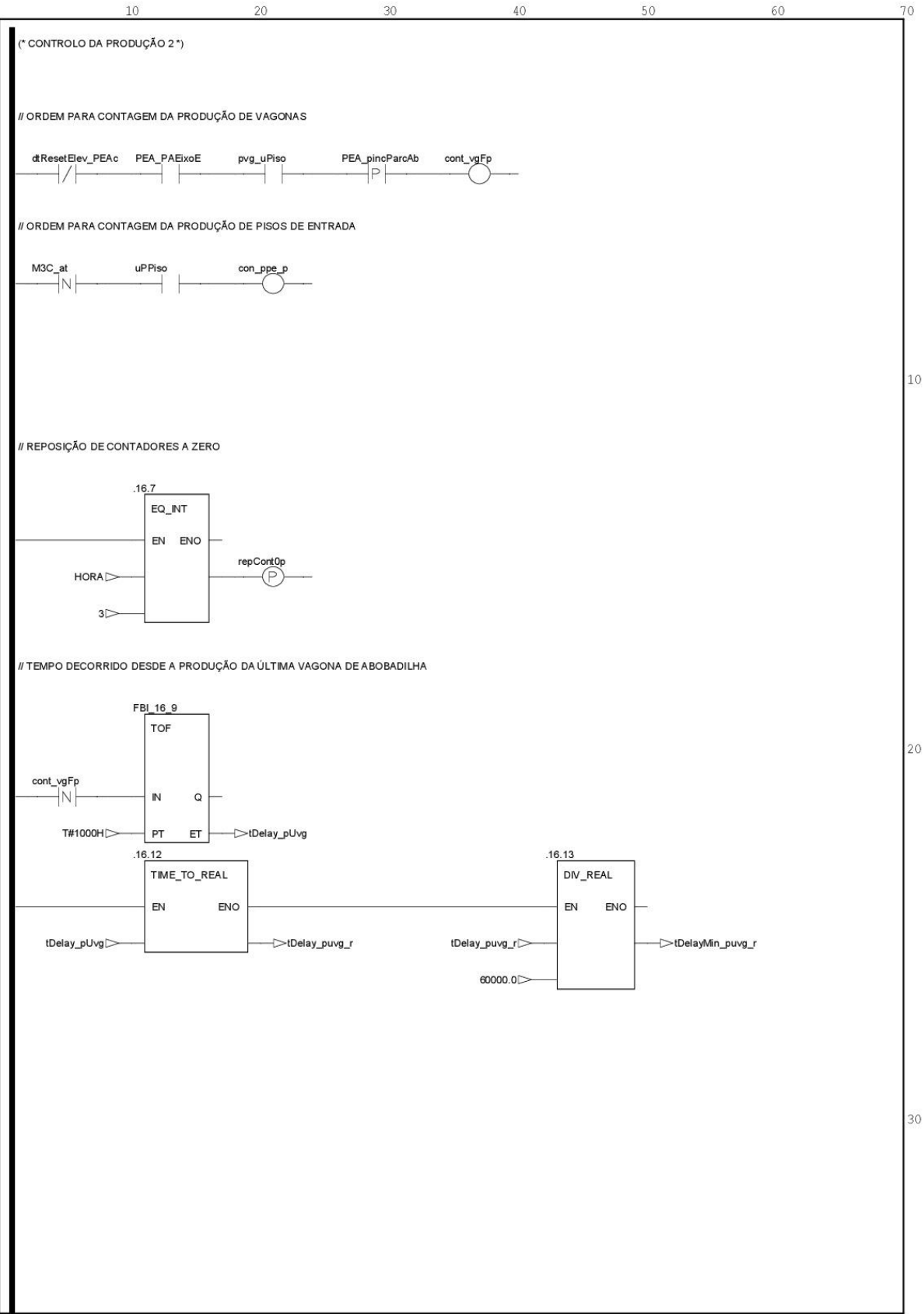
(* CONTADOR DE VAGONAS *)
IF pvg_uPiso = 1 AND cont_vgFp= 1 THEN
    pvgABd0 := pvgABd0 + 1;
END_IF;

(* REPOSIÇÃO DE CONTADORES A ZERO *)
IF reoContOp = 1 THEN
    pvgABd5 := pvgABd4;
    pvgABd4 := pvgABd3;
    pvgABd3 := pvgABd2;
    pvgABd2 := pvgABd1;
    pvgABd1 := pvgABd0;
    pvgABd0 := 0;
END_IF;

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

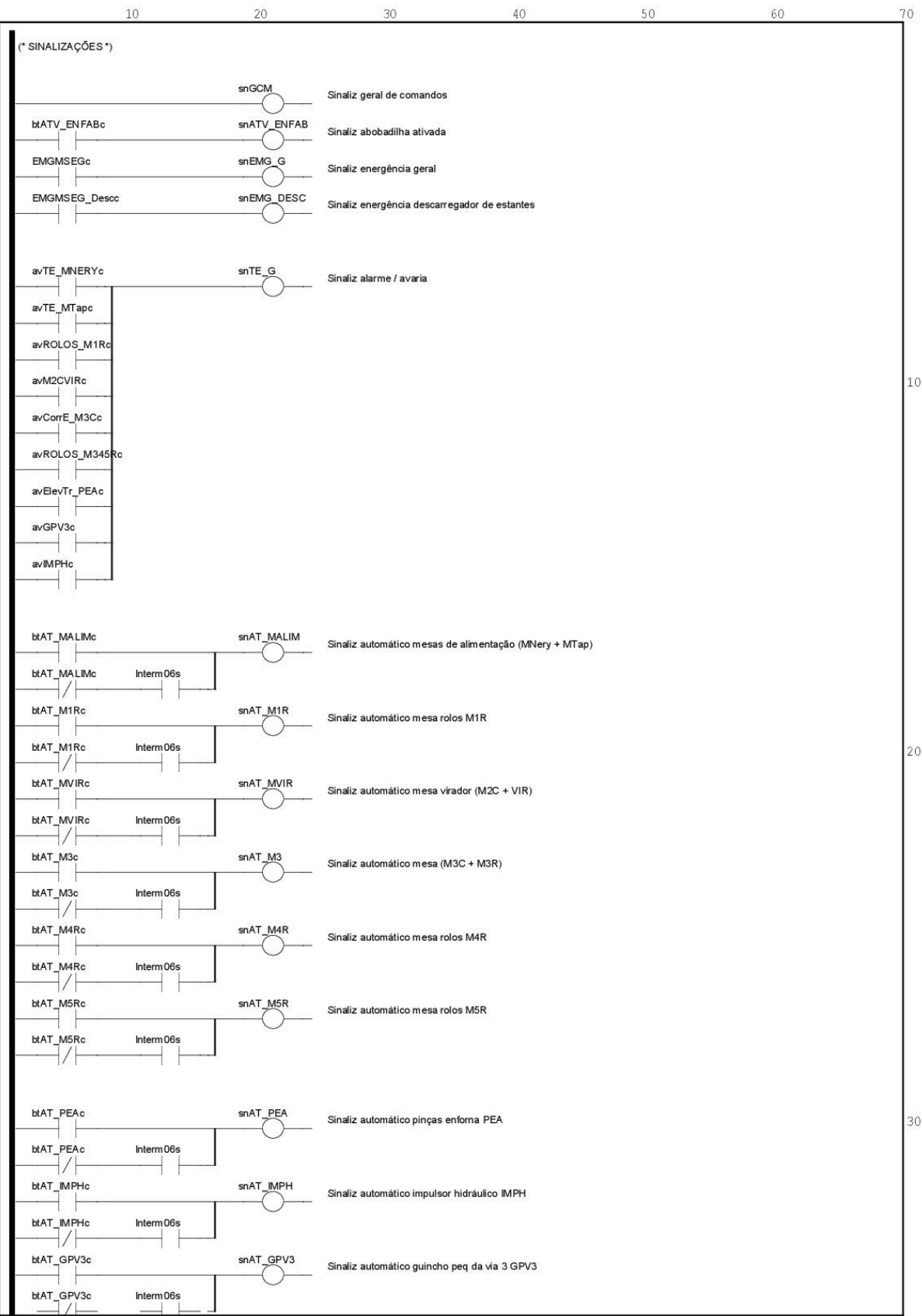
IV.24 Controlo da produção (2)

Graph of section ContProd2



IV.25 Sinalizações

Graph of section Sinaliz



ANEXO V - PROGRAMA DO PLC DA DESENFORNA DE ABOBADILHA

V.1 Mapa de cartas do PLC

I / O M a p

Remote (Head slot 0)							
Drop	Type	Modules	Holdup [ms]	Input-Bits	Output-Bits	Status Reg.	Activate
1	Momentum	1	-	32	0		-
2	I/O Bus	19	-	688	576		-

Local Drop						
Drop Type: Momentum			Drop 1			
Slot	Module name	Input Range	Output Range	Module description	In/Out-Type	Timeout-State
1	ADI-350-00	100001-100032		24V DC-32 Pt Input	BIN	

Remote (Head slot 0)						
Drop Type: I/O Bus			Drop 2			
Slot	Module name	Input Range	Output Range	Module description	In/Out-Type	Timeout-State
1	ADI-350-00	100033-100064		24V DC-32 Pt Input	BIN	
2	ADO-350-00		000001-000032	24V DC-32 Pt Output	BIN	
3	ADM-350-1X	100065-100080	000033-000048	24V DC-16 Pt Input, 16 Pt Output	BIN BIN	
4	AEC-920-00	300001-300008	401800-401807	High-Speed Counter		
5	ADM-350-1X	100081-100096	000049-000064	24V DC-16 Pt Input, 16 Pt Output	BIN BIN	
6	ADI-350-00	100129-100160		24V DC-32 Pt Input	BIN	
7	ADI-350-00	100161-100192		24V DC-32 Pt Input	BIN	
8	ADO-350-00		000129-000160	24V DC-32 Pt Output	BIN	
9	AEC-920-00	300010-300017	401820-401827	High-Speed Counter		
10	ADI-350-00	100241-100272		24V DC-32 Pt Input	BIN	
11	ADI-350-00	100273-100304		24V DC-32 Pt Input	BIN	
12	ADO-350-00		000241-000272	24V DC-32 Pt Output	BIN	
13	ADM-350-1X	100305-100320	000273-000288	24V DC-16 Pt Input, 16 Pt Output	BIN BIN	
14	AEC-920-00	300019-300026	401840-401847	High-Speed Counter		
15	ADI-350-00	100385-100416		24V DC-32 Pt Input	BIN	
16	ADI-350-00	100417-100448		24V DC-32 Pt Input	BIN	
17	ADO-350-00		000353-000384	24V DC-32 Pt Output	BIN	
18	ADM-350-1X	100449-100464	000385-000400	24V DC-16 Pt Input, 16 Pt Output	BIN BIN	
19	ADI-340-00	100465-100480		24V DC-16 Pt Input	BIN	

V.2 Estrutura de secções do programa do PLC

Project structure
<pre>Project : DESENF Group:copEntradas LD:copEntradas1 LD:copEntradas2 Group:encAEC FBD:AEC1 FBD:AEC2 FBD:AEC3 ST:pcTransf ST:g_progDAB1 ST:g_progDAB2 LD:PermTrab LD:Sistema LD:Pinças_Desenf_tij LD:TranspP_tij LD:PDA_PDesenfAb1 ST:PDA_PDesenfAb2 LD:MDescAb LD:MDescAb_at1 LD:MDescAb_at2 LD:MDescAb_at3 ST:progFiadas LD:PInterc LD:M7B_Estacoes ST:M7B_Estacoes1 LD:PP_PPaletizAb1 ST:PP_PPaletizAb2 LD:MPaletAb LD:MPaletAb_at1 ST:MPaletAb_at2 LD:TranspFvia6 LD:ContProd1 ST:ContProd2 LD:Sinaliz</pre>

V.3 Variáveis do PLC

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: address)						
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
snGCM	VAR	BOOL	000001		SINALIZ GERAL DE COMANDO	1
snEMG_G	VAR	BOOL	000002		SINALIZ EMERG GERAL	1
snTE_PDTJ	VAR	BOOL	000003		SINALIZ AVARIA TERM MOTORES DESENF TIJOLO	1
SINALTB_MCH	VAR	BOOL	000004		SINAL TRAB MAQ CINTAR HORIZ	2
SINALTB_MCV	VAR	BOOL	000005		SINAL TRAB MAQ CINTAR VERT	2
snBLQ_TP	VAR	BOOL	000006		SINALIZ BLOQUEIO TRANSP PALETES	1
otTP	VAR	BOOL	000007		Avanço transp paletes de tijolo;	7
snAT_IMPH1	VAR	BOOL	000008		SINALIZ MAN-AUT IMPULSOR HID 1 - DESENF TIJ	1
snATV_MCH	VAR	BOOL	000009		SINALIZ MAQ CINTAR HORIZ ATIVADA	1
snATV_MCV	VAR	BOOL	000010		SINALIZ MAQ CINTAR VERT ATIVADA	1
snAVA_IMPH1	VAR	BOOL	000011		SINALIZ AVANÇO IMPULSOR HID 1 - DESENF TIJ	1
snREC_IMPH1	VAR	BOOL	000012		SINALIZ RECUO IMPULSOR HID 1 - DESENF TIJ	1
evAVA_IMPH1	VAR	BOOL	000013		ELECTROV AVANÇO IMPULSOR HID 1 - DESENF TIJ [S11-IH13F]	5
evREC_IMPH1	VAR	BOOL	000014		ELECTROV RECUO IMPULSOR HID 1 - DESENF TIJ [S12-IH13T]	4
mtc_IMPH1	VAR	BOOL	000015		Motor centralina impulsor hid 1 [S1C-M3];	2
bhPD	VAR	BOOL	000016		MOTOR BOMBA HID PINÇAS DESENF - M1 - [S13]	2
evSUB_PD	VAR	BOOL	000017		ELECTROV SUBIR PINÇAS DESENF - IH1S - [S00]	3
evDC_PD	VAR	BOOL	000018		ELECTROV DESCER PINÇAS DESENF - IH1D - [S01]	2
evFC_PD	VAR	BOOL	000019		ELECTROV FECHAR PINÇAS DESENF - IH2F - [S02]	3
evAB_PD	VAR	BOOL	000020		ELECTROV ABRIR PINÇAS DESENF - IH2A - [S03]	2
evCB1MAXP_PD	VAR	BOOL	000021		ELECTROV CAUDAL BOMBA 1 MAX PRESSAO - IH5A - [S04]	1
evCB1MEDP_PD	VAR	BOOL	000022		ELECTROV CAUDAL BOMBA 1 MEDIA PRESSAO - IH5R - [S05]	1
evSEP_PD	VAR	BOOL	000023		ELECTROV SEPARAR PINÇAS DESENF - IH7S - [S08]	2
evJT_PD	VAR	BOOL	000024		ELECTROV JUNTAR PINÇAS DESENF - IH7J - [S09]	2
evROT90_PD	VAR	BOOL	000025		ELECTROV RODAR PINÇAS DESENF A 90° - IH890 - [S0A]	2
evRot0_PD	VAR	BOOL	000026		ELECTROV RODAR PINÇAS DESENF A 0° - IH80 - [S0B]	2
evCB2MAXP_PD	VAR	BOOL	000027		ELECTROV CAUDAL BOMBA 2 MAX PRESSAO - IH10A (SUBIR , FECHAR) - [S0C]	1
evCDTRANSL_PD	VAR	BOOL	000028		ELECTROV PRESSAO LINHA IH11 - H10R (CAUDAL TRANSL) - [S0D]	1
evRC_PD	VAR	BOOL	000029		ELECTROV RECUO TRANSL CARRO - IH11A - [S0E]	2
evAV_PD	VAR	BOOL	000030		ELECTROV AVANÇO TRANSL CARRO - IH11R - [S0F]	2
evTRAP_PD	VAR	BOOL	000031		ELECTROV TRANSL RAPIDA PINÇAS DESENF - IH12 - [S10]	1
snAT_PD	VAR	BOOL	000032		SINALIZ TRAB AUT PINÇAS DESENF	1
snBLQ_CP	VAR	BOOL	000033		SINALIZ BLOQUEIO COMPACT PALETES	1
evFC_CP	VAR	BOOL	000034		ELECTROV FECHAR COMPACT PALETES	2
evAB_CP	VAR	BOOL	000035		ELECTROV ABRIR COMPACT PALETES	3
snMOVATE1_PD	VAR	BOOL	000036		SINALIZ MOV AUT EIXO 1 PINÇAS DESENF	0
snMOVATE2_PD	VAR	BOOL	000037		SINALIZ MOV AUT EIXO 2 PINÇAS DESENF	0
snMOVATE3_PD	VAR	BOOL	000038		SINALIZ MOV AUT EIXO 3 PINÇAS DESENF	0
snMOVATRET_PD	VAR	BOOL	000039		SINALIZ MOV AUT RETORNO PINÇAS DESENF	0
SegGuinchoVia6	VAR	BOOL	000040		RELE SEG GUINCHO - IMPEDE AVANÇO VAG COM MATERIAL NA VIA 6	1
sn1AT_GPV6	VAR	BOOL	000041		SINALIZ 1 AUT GUINCHO PEQ VIA 6	1
sn1AVA_GPV6	VAR	BOOL	000042		SINALIZ 1 AVANÇO GUINCHO PEQ VIA 6	1
sn1REC_GPV6	VAR	BOOL	000043		SINALIZ 1 RECUO GUINCHO PEQ VIA 6	1
sn1AV_GPV6	VAR	BOOL	000044		SINALIZ 1 AVARIA GUINCHO PEQ VIA 6	1
sn1AT_IMPH2	VAR	BOOL	000045		SINALIZ 1 AUT IMPULSOR HID VIA 6	1
sn1AVA_IMPH2	VAR	BOOL	000046		SINALIZ 1 AVANÇO IMPULSOR HID 2 DESENF ABOB VIA 6	1
sn1REC_IMPH2	VAR	BOOL	000047		SINALIZ 1 RECUO IMPULSOR HID 2 DESENF ABOB VIA 6	1
sn1AV_IMPH2	VAR	BOOL	000048		SINALIZ 1 AVARIA IMPULSOR HID 2 DESENF ABOB VIA 6	1
evAVA_IMPH2	VAR	BOOL	000049		Eletrov avanço imp hid 2;	5
evREC_IMPH2	VAR	BOOL	000050		Eletrov recuo impulsor hid 2;	4
mtC_IMPH2	VAR	BOOL	000051		Motor centralina impulsor hid 2;	1
mtAVA_GPV6	VAR	BOOL	000052		Motor avanço guincho peg via 6;	3
mtREC_GPV6	VAR	BOOL	000053		Motor recuo guincho peg via 6;	3
snATV_DAB	VAR	BOOL	000054		SINALIZ ATIV DESENF ABOB	1
snBLQ_GPV6	VAR	BOOL	000055		Sinaliz de bloqueio do guincho GPV6 (junto	0

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: address)						
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
PP_Rot90P1_at	VAR	BOOL			Condição de segurança que impede recuo pino a PP abaixo da altura definida;	2
PP_Rot90P2_at	VAR	BOOL				2
PP_SegRH	VAR	BOOL				3
PP_Subir	VAR	BOOL				3
PP_SubL	VAR	BOOL				4
PP_TranslL	VAR	BOOL				2
prod_pDIA	VAR	BOOL			PULSO DE ATUALIZ REGISTOS PROD DO DIA	2
prod_pMES	VAR	BOOL				2
progFiadas	IVAR	SECT_CTRL			PC-HMI pulso de troca de programa;	0
pTrocaProg	VAR	BOOL				2
pvgi	VAR	INT			Troca de piso de vag a partir do HMI;	2
pvgTrocaPiso_HMI	VAR	BOOL				2
pvg_1Piso	VAR	BOOL			Pulso de fim de desenforma de uma estiva da vagona de abobadilha; Faz avançar impulsor hid;	3
pvg_uPiso	VAR	BOOL				
REPCONT_0	VAR	BOOL			PULSO DE REPOSICAO DE CONTADORES A 0	2
REFMEDIAT1	VAR	BOOL				2
REFMEDIAT2	VAR	BOOL				2
REFMEDIAT2in	VAR	BOOL				2
resCIMP1	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) CIMP1	8
resCIMP2	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) CIMP2	3
resCIMP3	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) CIMP3	5
resENC1	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC1	2
resENC2	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC2	2
resENC3	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC3	16
resENC4	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC4	9
resENC5	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC5	9
resENC6	VAR	REAL			RESOLUÇÃO (p/mm) ENC6	11
rppal	VAR	IntArray20x50			Registo de produção de paletes	0
segAv_PDA	VAR	BOOL			Seg. temporal impede erro de contagem de paletes de tijolo consecutivas;	0
segContador_palTij	VAR	BOOL				2
segContador_vagTij	VAR	BOOL			Seg. temporal impede erro de contagem de vagonas de tijolo consecutivas;	2
SemPalEixos_M9C	VAR	BOOL			Sem paletes de madeira nos eixos de palet de M9C;	3
SINALIZ	IVAR	SECT_CTRL				0
SISTEMA	IVAR	SECT_CTRL				0
startForc_PC	VAR	BOOL			Arranque forçado seq automatica PC;	2
start_MC	VAR	BOOL				0
start_PC	VAR	BOOL				0
TB_estM7aux	VAR	BOOL				2
TB_estM7p	VAR	BOOL			Aux autoriz de trab estações de M7B; Pulso de trab de estações de M7B; Ordem de trabalho das operações de compactação e cintagem em M7;	3
THM3Desc_at	VAR	BOOL				2
THM3Sub_at	VAR	BOOL				2
TM5AvaFC_at	VAR	BOOL				3
TM5AvaFN_at	VAR	BOOL			Avanço de tope TM5 para receber fiada cruzada;	3
TM5ava_at1s1	VAR	BOOL			Avanço de tope TM5 para receber fiada normal;	0
TM5ava_at2s2	VAR	BOOL			Avanço de tope TM5 para receber fiada normal (cPi sem fiada cruzada);	0
TM5ava_at3s2	VAR	BOOL			Avanço de tope TM5 para receber fiada cruzada (cPi com fiada cruzada);	0
TM5Rec_at	VAR	BOOL			Avanço de tope TM5 para receber fiada normal (cPi com fiada cruzada);	3
TM5rec_at1s1	VAR	BOOL			Recuo de tope TM5;	0
TM5rec_at2s2	VAR	BOOL			Recuo de tope TM5 (cPi sem fiada cruzada);	0
TM5rec_at3s2	VAR	BOOL			Recuo de tope TM5 apos receber fiada cruzada (cPi com fiada cruzada);	0
TM5_PAcpt	VAR	INT			Recuo de tope TM5 apos receber fiada normal (cPi com fiada cruzada);	1
TM5_stopCIMP1	VAR	BOOL			Valor da proxima paragem do tope final da mesa 5;	3
TmEstado_ev	VAR	TIME			Ordem de paragem do movim seguinte do tope final da mesa 5;	26
TmEstado_evEcAlmof	VAR	TIME			Tempo (ms) mudança de estado das eletrovalvulas;	2
TmEstado_evEvzAlmof	VAR	TIME			Tempo (ms) mudança de estado da eletrovalvula de encher almodafa;	2
TopH_D	VAR	BOOL			Tempo (ms) mudança de estado da eletrovalvula de esvaziar almodafa;	0

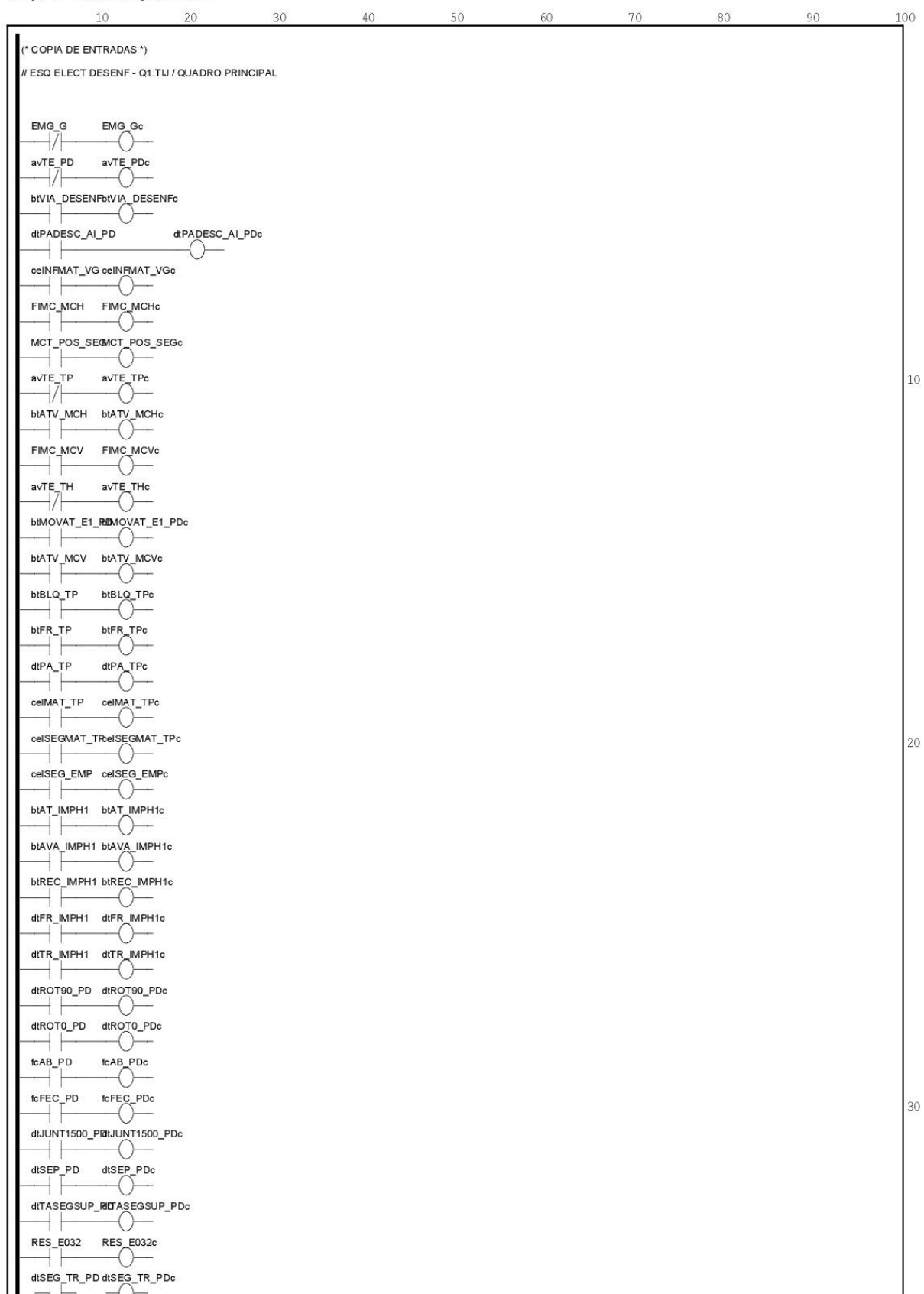
Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: address)						
Variable name	Type	DType	Address	Initial value	Comment	Used
TopH_Dp	VAR	BOOL			Pulso de descida tope horizontal;	3
TranspFvia6	IVAR	SECT_CTRL				0
TranspP_tij	IVAR	SECT_CTRL				0
TVM3Desc_at	VAR	BOOL				2
TVM3Sub_at	VAR	BOOL			Subida top M3C;	2
update_pMAT_VAR	VAR	BOOL				2
vagCentDABp	VAR	BOOL			Pulso temporizado de vagona centrada na desenf de abobadilha;	1
Via6Cheia	VAR	BOOL				3

V.4 DFBs (Derived Function Blocks)

D F B u s a g e				
Name	Version	Used in section	Instance	at
AEC	15-04-1999 10:13:40	AEC1	FBI_12_1	30,4
		AEC1	FBI_12_4	30,36
		AEC2	FBI_13_2	30,4
		AEC2	FBI_13_4	30,37
		AEC3	FBI_14_2	30,4
		AEC3	FBI_14_4	30,37
INTERM	23-02-2016 18:21:24	Sistema	FBI_5_9	11,10
		Sistema	FBI_5_10	11,7
		Sistema	FBI_5_11	11,13
		Sistema	FBI_5_12	11,16
		Sistema	FBI_5_13	11,19
		Sistema	FBI_5_14	11,4
ONOFF1BT	15-02-2016 13:47:14	TranspFvia6	FBI_24_259	27,94
		TranspFvia6	FBI_24_282	27,98

V.5 Cópias de entradas (1)

Graph of section copEntradas1

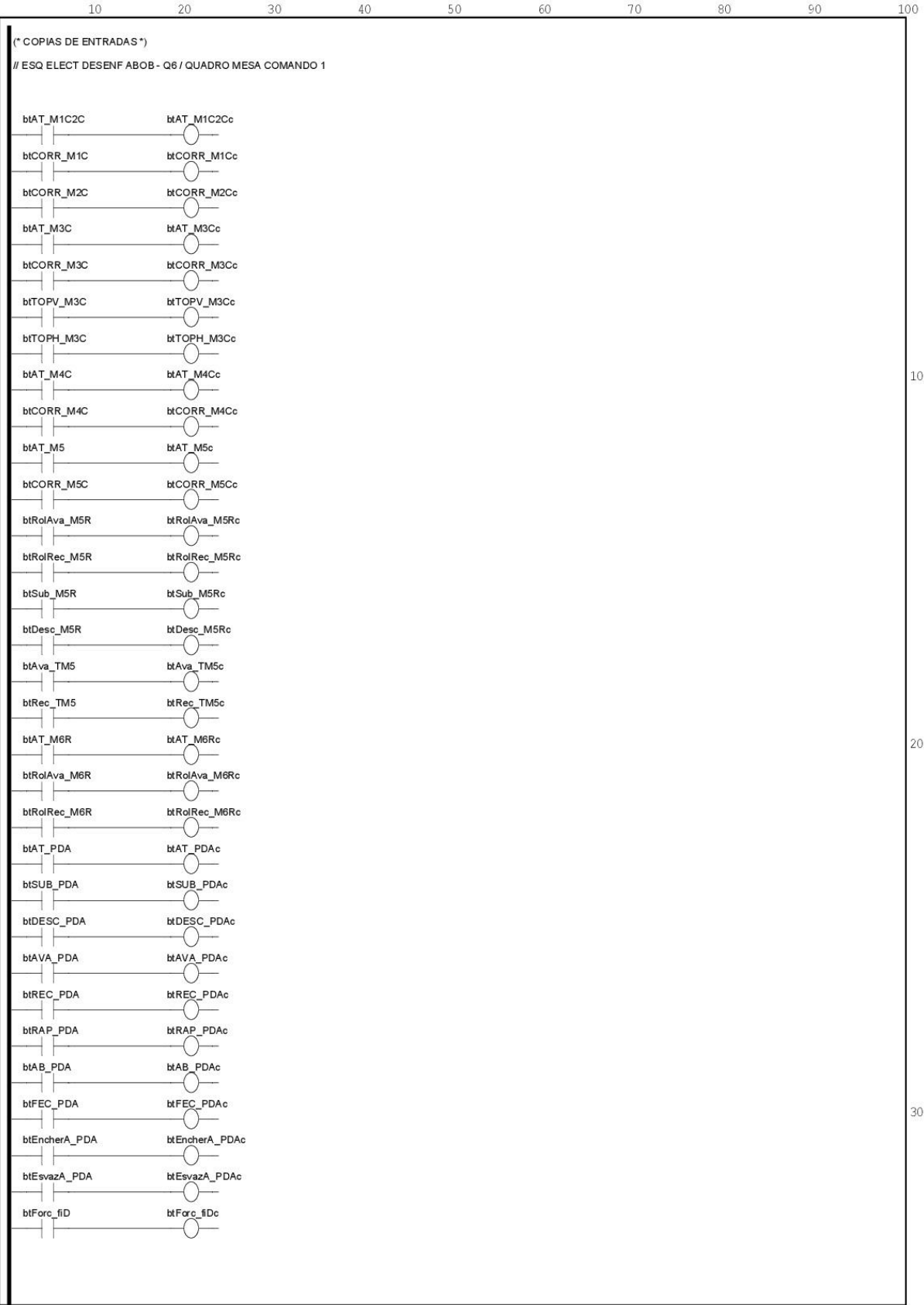


> page 2

page: 1

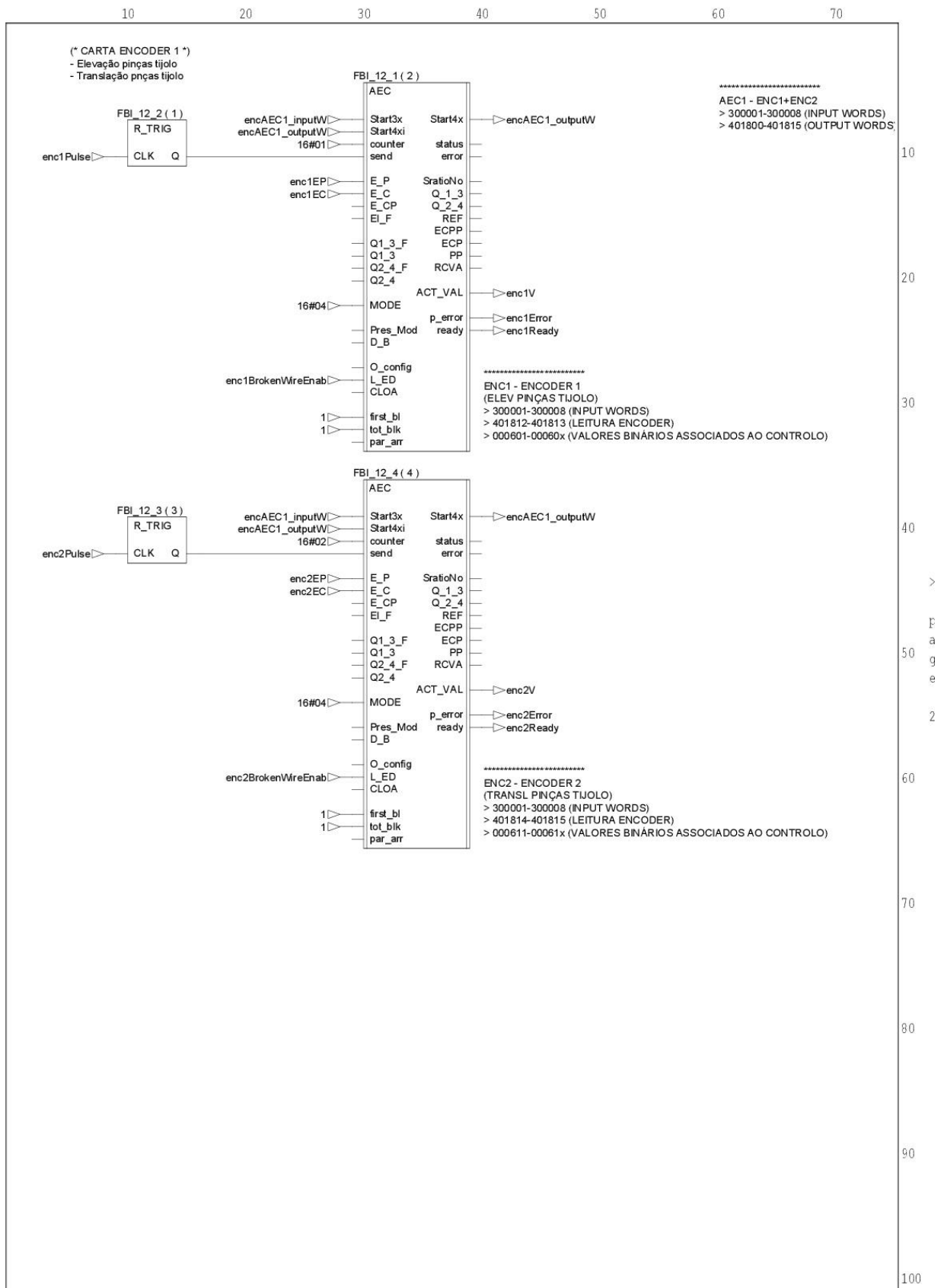
V.6 Cópias de entradas (2)

Graph of section copEntradas2



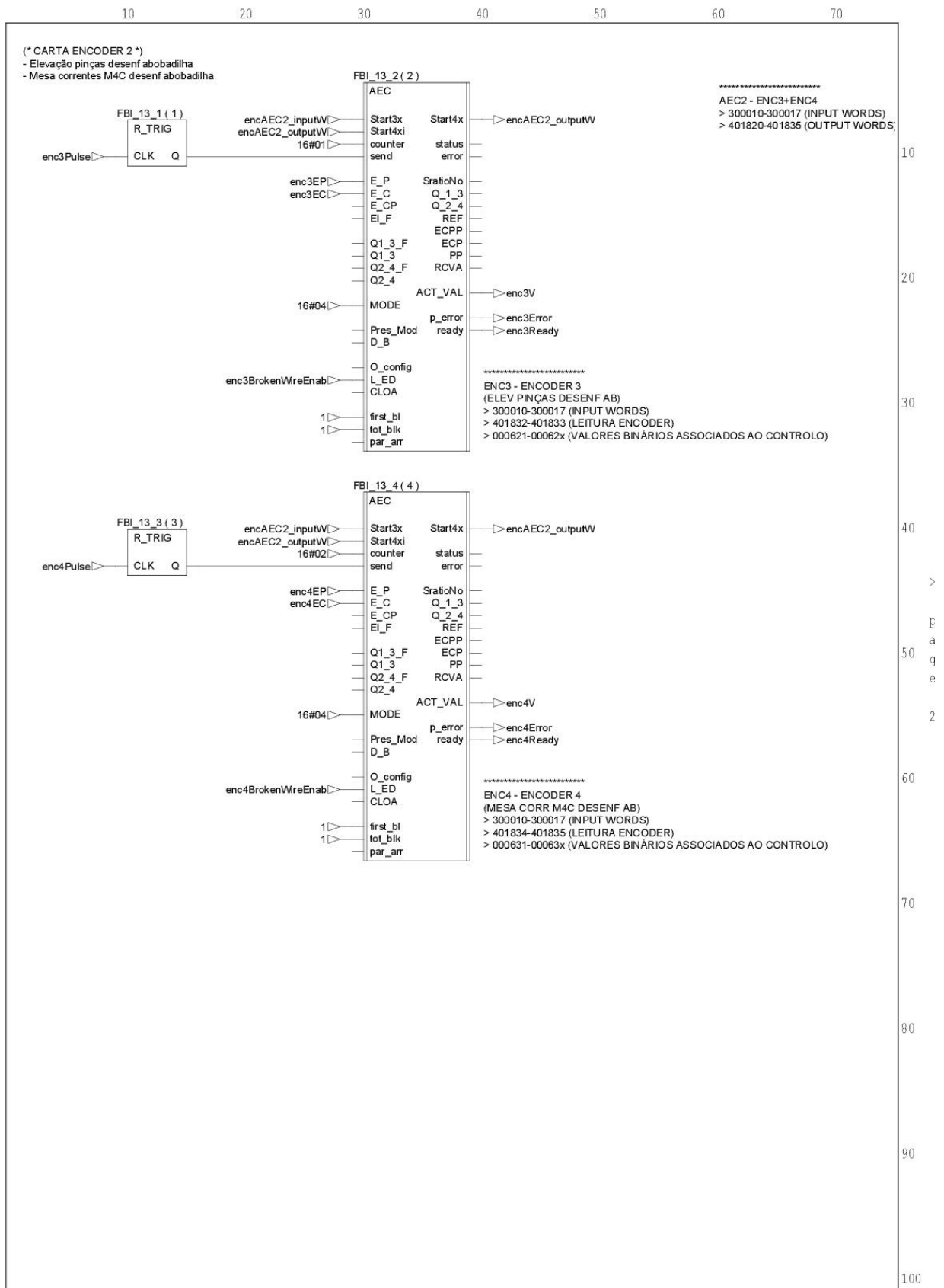
V.7 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC1

Graph of section AEC1



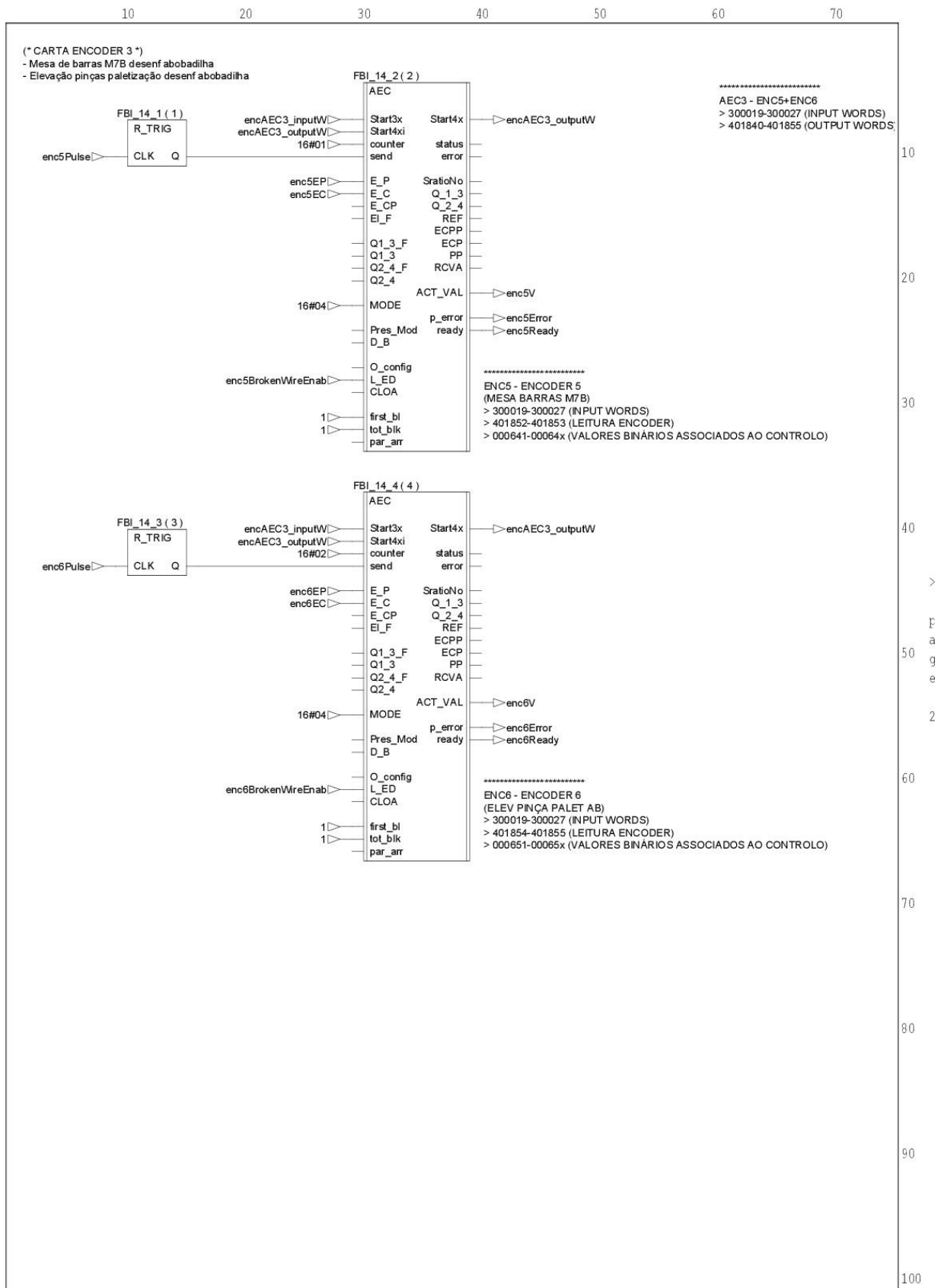
V.8 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC2

Graph of section AEC2



V.9 FBD (Function blocks diagrams) - Carta de encoder AEC3

Graph of section AEC3



V.10 Transferência de valores das entradas de dados para o PLC

Listing of section pcTransf

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* TRANSFERÊNCIA DE VALORES DA ENTRADA DE DADOS PARA O PLC *)
(* CONVERSÕES *)
(* PREENCHIMENTO DE ARRAYS *)

(* Conversão do tempo de mudança de estado das eletroválvulas *)
TmEstado_ev := INT_TO_TIME (IN := pcTmEstado_ev);
TmEstado_evEcAlmof := INT_TO_TIME (IN:= pcTmEstado_evEcAlmof);
TmEstado_evEvzAlmof := INT_TO_TIME (IN:= pcTmEstado_evEvzAlmof);

(* Cálculo de resolução de encoders [pt/mm] *)
IF (pcPAR_dpENC1 > 0.0) THEN
  resENC1 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC1) / (3.14159 * pcPAR_dpENC1);
ELSE
  resENC1 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC2 > 0.0) THEN
  resENC2 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC2) / (3.14159 * pcPAR_dpENC2);
ELSE
  resENC2 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC3 > 0.0) THEN
  resENC3 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC3) / (3.14159 * pcPAR_dpENC3);
ELSE
  resENC3 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC4 > 0.0) THEN
  resENC4 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC4) / (3.14159 * pcPAR_dpENC4);
ELSE
  resENC4 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC5 > 0.0) THEN
  resENC5 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC5) / (3.14159 * pcPAR_dpENC5);
ELSE
  resENC5 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpENC6 > 0.0) THEN
  resENC6 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprENC6) / (3.14159 * pcPAR_dpENC6);
ELSE
  resENC6 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpCIMP1 > 0.0) THEN
  resCIMP1 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprCIMP1) / (3.14159 * pcPAR_dpCIMP1);
ELSE
  resCIMP1 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpCIMP2 > 0.0) THEN
  resCIMP2 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprCIMP2) / (3.14159 * pcPAR_dpCIMP2);
ELSE
  resCIMP2 := 0.0;
END_IF;

IF (pcPAR_dpCIMP3 > 0.0) THEN
  resCIMP3 := UINT_TO_REAL (IN := pcPAR_pprCIMP3) / (3.14159 * pcPAR_dpCIMP3);
ELSE
  resCIMP3 := 0.0;
END_IF;

(* Conversão de valores *)
espFiadaspt := REAL_TO_DINT (IN := resENC4 * INT_TO_REAL (IN := pcEspFiadas));
M7BPasso_pt := REAL_TO_DINT (IN := resENC5 * INT_TO_REAL (IN := pcPAR_PassoM7B));
M7B_Dlenta_pt := REAL_TO_DINT (IN := resENC5 * INT_TO_REAL (IN := pcDLentaM7B));

dSepPALV_M8Cpt := REAL_TO_INT (IN := resCIMP2 * INT_TO_REAL (IN := pcDSepPALV_M8C));
dSepEPAL_M9Cpt := REAL_TO_INT (IN := resCIMP3 * INT_TO_REAL (IN := pcDSepEPAL_M9C));
dSubPPALV_M9C := REAL_TO_INT (IN := resCIMP3 * INT_TO_REAL (IN := pcDSubPPALV_M9C));
dPa_M9C := REAL_TO_INT (IN := resCIMP3 * INT_TO_REAL (IN := pcDPa_M9C));

(* Atribuição de valores aos Arrays em função dos valores da entrada de dados *)
(* Alturas dos pisos das vagões em pts do encoder *)
arrH_pvg[1] := REAL_TO_DINT (IN := resENC3 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p1vg));
arrH_pvg[2] := REAL_TO_DINT (IN := resENC3 * INT_TO_REAL (IN := pcH_p2vg));
```

> page 2

page: 1

page: 2

V.11 Gestão de programas (1) – Carregamento do programa no PLC

Listing of section g_progDAB1

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* GESTÃO 1 DE PROGRAMAS (MATERIAIS) DA DESENFORNA DE ABOBADILHA *)

(* Transferência do programa armazenado no array progDAB[20,50] para o programa em utilização *)
IF pTrocaProg = 1 THEN
  FOR iLp := 1 TO 50 DO
    CASE iLp OF
      1: pg01_idmat := progDAB[idmatS,iLp];
      2: pg02_mat := progDAB[idmatS,iLp];
      3: pg03_matL := progDAB[idmatS,iLp];
      4: pg04_matC := progDAB[idmatS,iLp];
      5: pg05_matA := progDAB[idmatS,iLp];
      6: pg06_Nppal := progDAB[idmatS,iLp];
      7: pg07_NF_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      8: pg08_NF_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      9: pg09_NF_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      10: pg10_NF_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      11: pg11_NF_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      12: pg12_NFF_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      13: pg13_NFF_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      14: pg14_NFF_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      15: pg15_NFF_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      16: pg16_NFF_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      17: pg17_NFFC_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      18: pg18_NFFC_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      19: pg19_NFFC_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      20: pg20_NFFC_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      21: pg21_NFFC_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      22: pg22_Rot_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      23: pg23_Rot_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      24: pg24_Rot_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      25: pg25_Rot_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      26: pg26_Rot_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      27: pg27_DtopFN_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      28: pg28_DtopFN_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      29: pg29_DtopFN_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      30: pg30_DtopFN_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      31: pg31_DtopFN_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      32: pg32_DtopFC_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      33: pg33_DtopFC_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      34: pg34_DtopFC_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      35: pg35_DtopFC_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      36: pg36_DtopFC_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      37: pg37_dAvaUfiM7_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      38: pg38_dAvaUfiM7_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      39: pg39_dAvaUfiM7_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      40: pg40_dAvaUfiM7_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      41: pg41_dAvaUfiM7_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      42: pg42_Cinta_p1pal := progDAB[idmatS,iLp];
      43: pg43_Cinta_p2pal := progDAB[idmatS,iLp];
      44: pg44_Cinta_p3pal := progDAB[idmatS,iLp];
      45: pg45_Cinta_p4pal := progDAB[idmatS,iLp];
      46: pg46_Cinta_p5pal := progDAB[idmatS,iLp];
      47: pg47_Reserva := progDAB[idmatS,iLp];
      48: pg48_Reserva := progDAB[idmatS,iLp];
      49: pg49_Reserva := progDAB[idmatS,iLp];
      50: pg50_Reserva := progDAB[idmatS,iLp];
    END_CASE;
  END_FOR;
  FOR iLp := 1 TO 50 DO
    progDABt[iLp] := progDAB[idmatS,iLp];
  END_FOR;
END_IF;

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

V.12 Gestão de programas de materiais (2) - Atualização de programa temporário

Listing of section g_progDAB2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* ATUALIZAÇÃO PROGRAMA TEMPORÁRIO *)

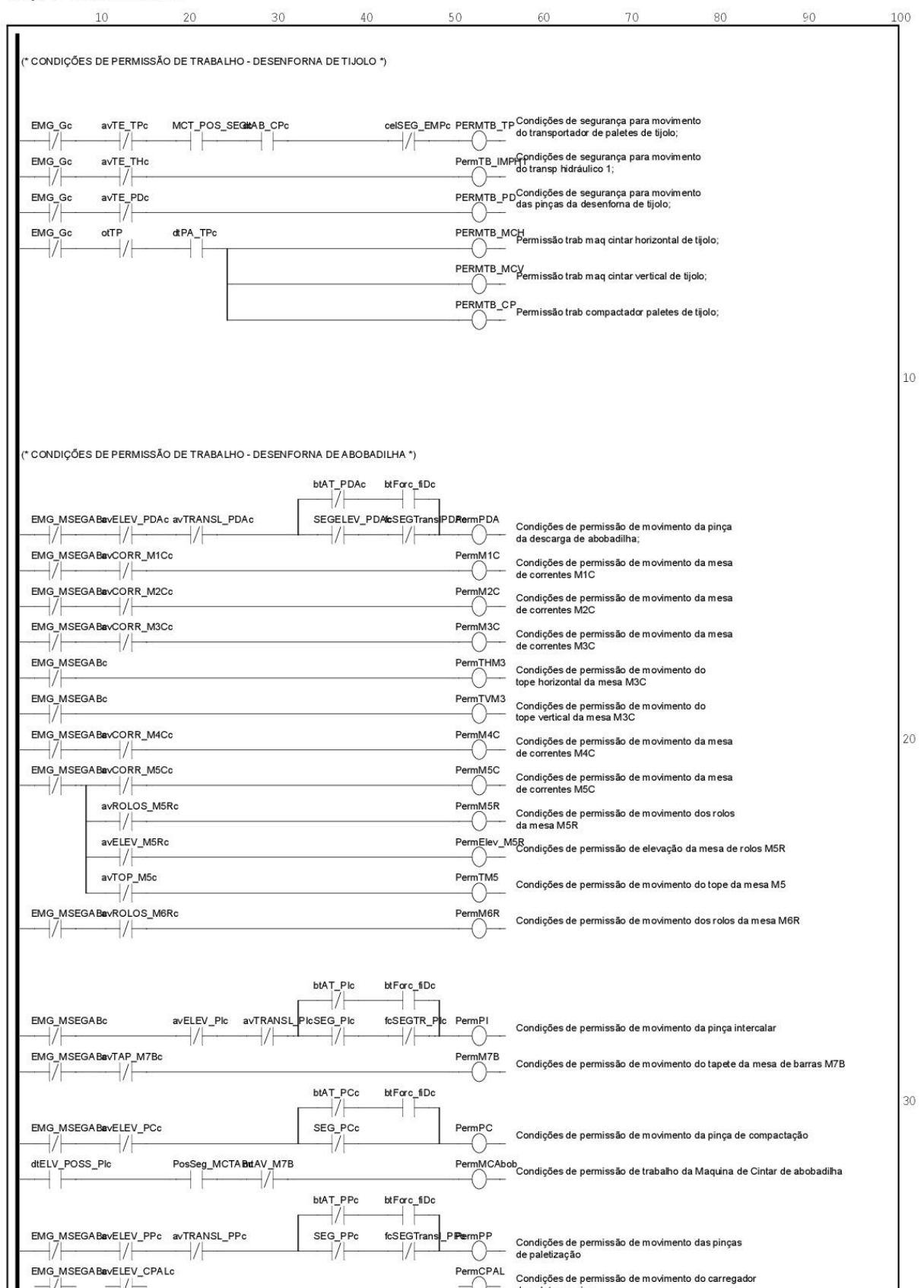
IF pAltProg = 1 THEN
  FOR iLp := 1 TO 50 DO
    progDAB[idmats,iLp] := progDABt[iLp];
  END FOR;
END_IF;

(*Analise erro cFi *)
IF pErro_cFi = 1 THEN
  Erro_cFi:= enc4V;
END_IF;

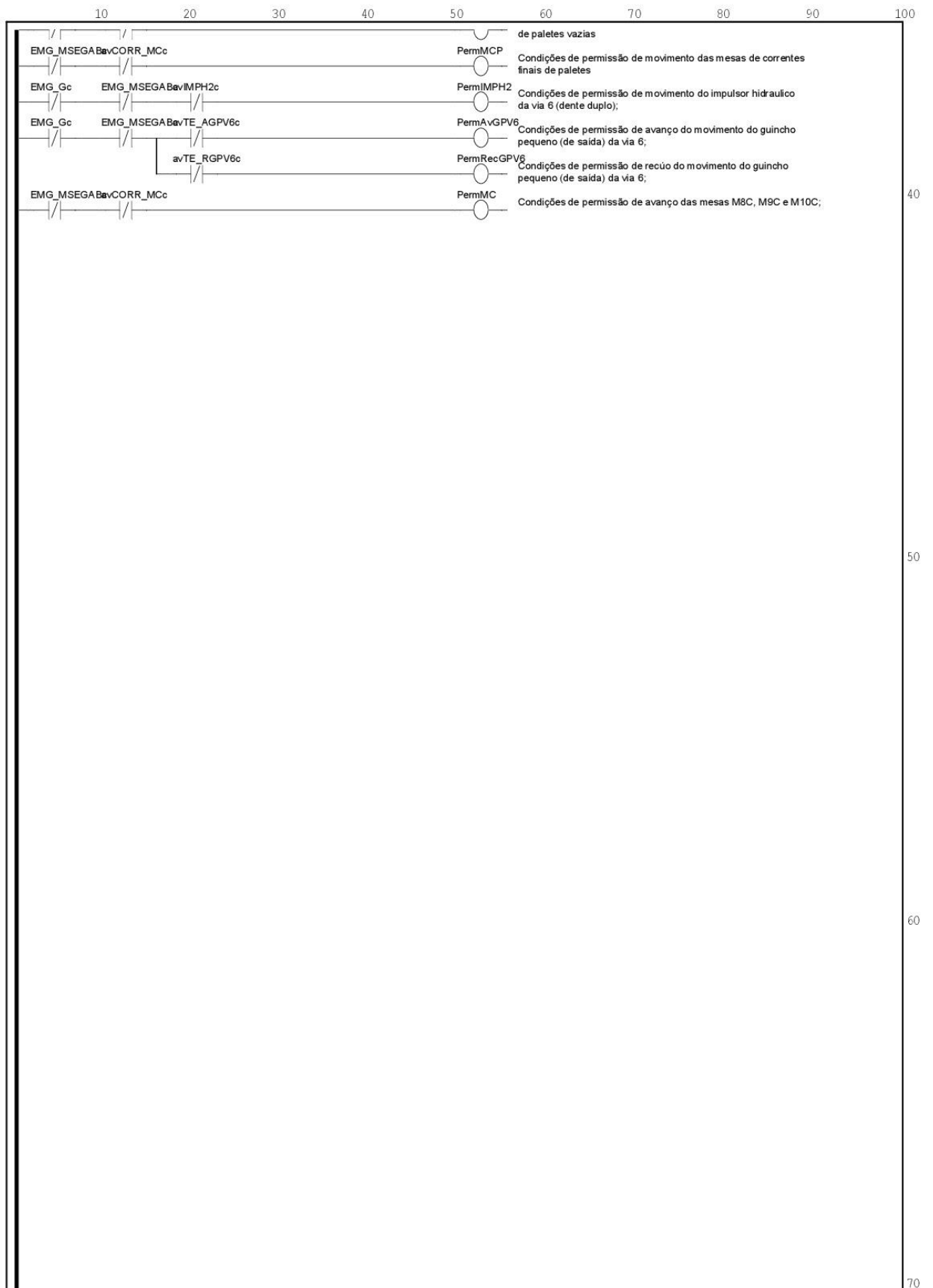
»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```


V.13 Condições de permissão de trabalho

Graph of section PermTrab

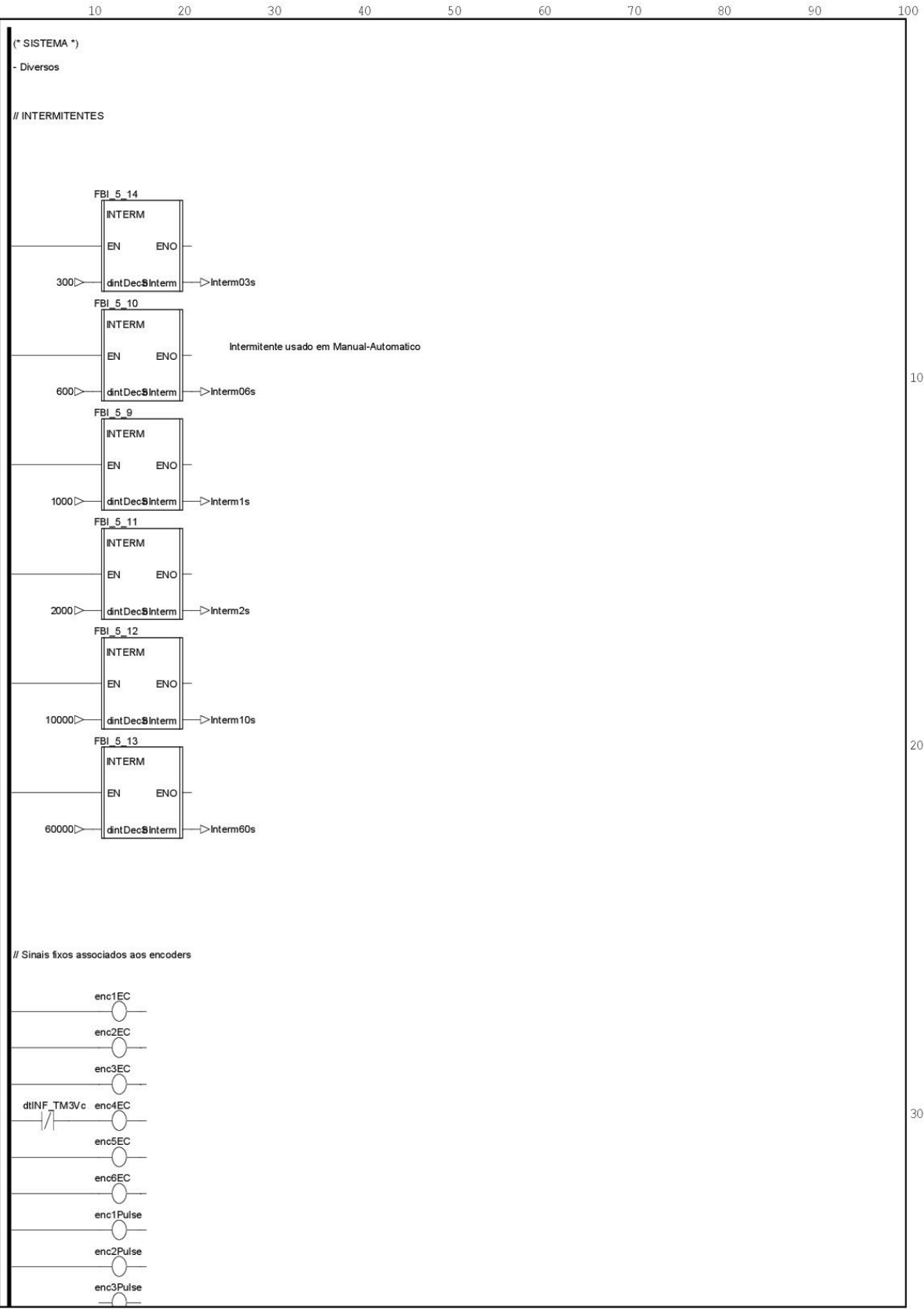


> page 2



V.14 Sistema

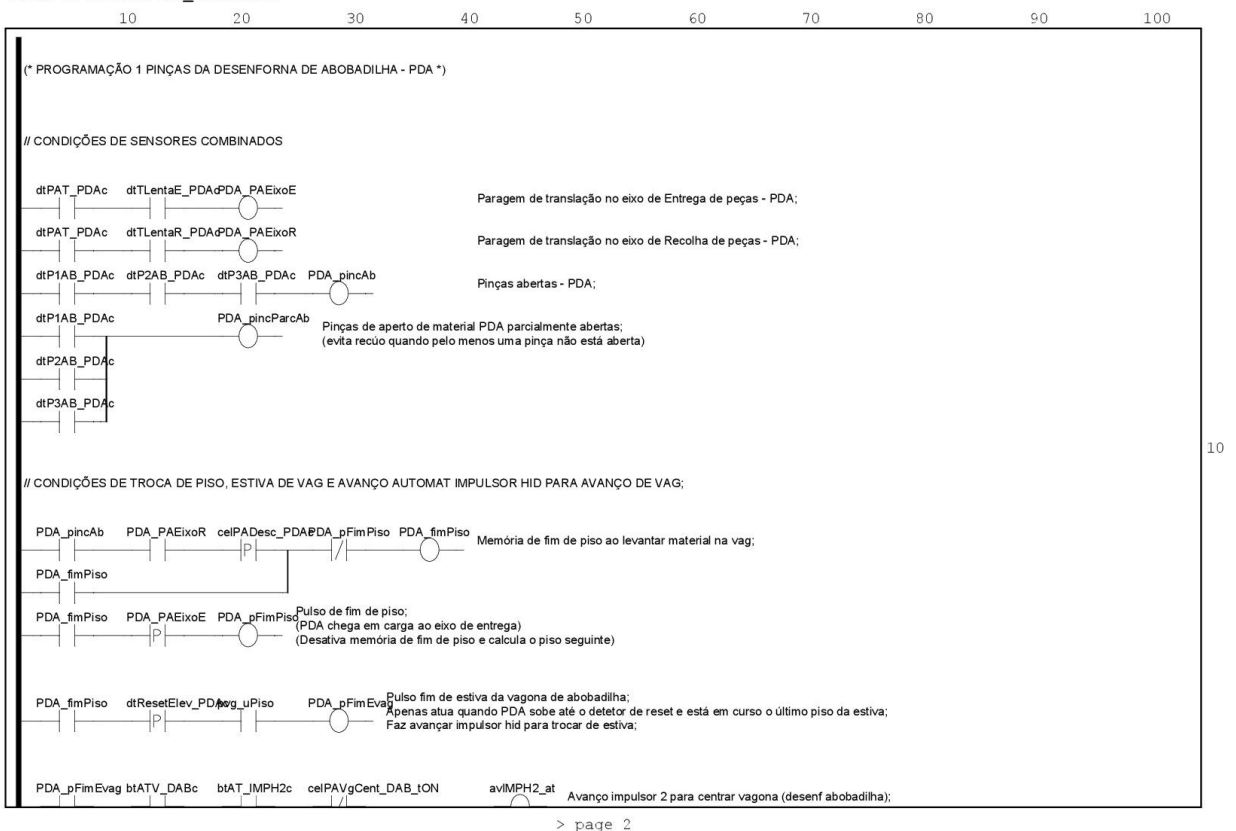
Graph of section Sistema



> page 2

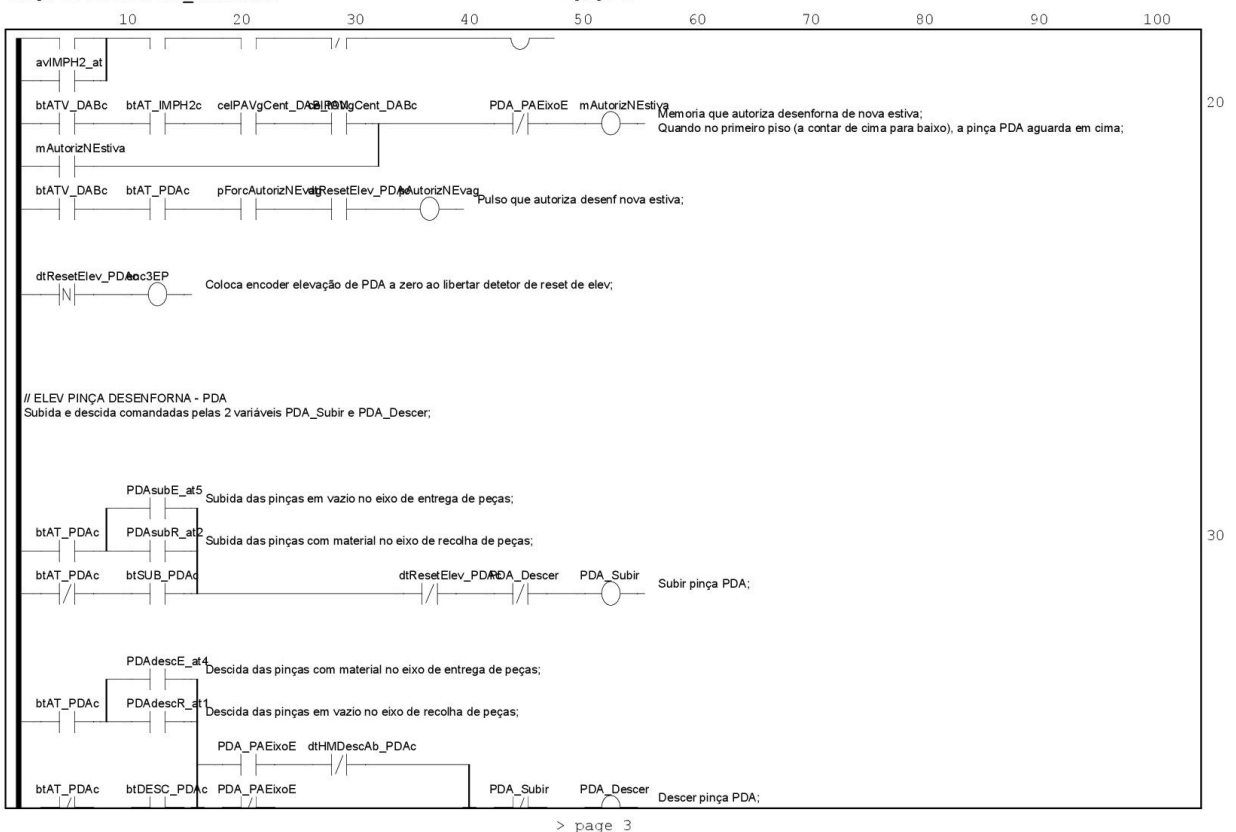
V.15 Programação pinças da desenfora de abobadilha (1)

Graph of section PDA_PDesenfAb1



page: 1

Graph of section PDA_PDesenfAb1



page: 2

V.16 Programação pinças da desenforma de abobadilha (2)

Listing of section PDA_PDesenfAb2

```

»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««
(* Programação de Pinça de Desenforma de Abobadilha - PDA
  Reset encoder ao chegar acima com material na carga do último piso da vag;
  Troca de vag (trocaVg) ao chegar acima com material após remover último piso na vag;
  Posição de espera com material - Pinça com material no eixo de descarga na altura superior/reset;
  Posição de espera sem material - Pinça sem material no eixo de carga na altura superior/reset;

  Nomenclaturas:
  PDA - Pinça de Desenforma de Abobadilha;
  pt - pontos de encoder;
  pvg - Piso da vag;
  pvgC - piso de vagona em curso;
  PDA_pFimPiso - pulso de troca de piso de pinça de desenforma de abobadilha;

(* Calcula em pts do encoder, as distâncias fixas associadas a PDA *)
PDA_ptDescL := REAL_TO_DINT(IN := resENC3 * INT_TO_REAL (IN := pcDLentaPDA)); (* distância de aproximação em vel lenta *)
PDA_ptSubL := REAL_TO_DINT(IN := resENC3 * INT_TO_REAL (IN := pcSLentaPDAPP)); (* distância de aproximação em vel lenta *)
PDA_ptMdesc := REAL_TO_DINT(IN := resENC3 * INT_TO_REAL (IN := pcHMDescPDA)); (* altura mesas de descarga de material *)
PDA_ptHSegRH := REAL_TO_DINT(IN := resENC3 * INT_TO_REAL (IN := pcHSegRH_PDA)); (* altura de segurança recuo horiz da pinça *)

(* Segurança de impedimento de mov retorno de PDA abaixo da altura definida *)
IF enc3V > PDA_ptHSegRH THEN
  PDA_SegRH := 1;
ELSE
  PDA_SegRH := 0;
END_IF;

(* Troca de pisos e atualização de variáveis associadas pelo programa ou HMI *)
IF PDA_pFimPiso = 1 OR pvgTrocaPiso_HMI = 1 THEN (* Pulso troca piso def no momento de descarga do piso eixo de entrega *)
  IF pvgC > 0 AND pvgC < pcNpvg THEN
    pvgC := pvgC + 1;
  ELSE
    pvgC := 1;
  END_IF;
END_IF;

IF pvgC = pcNpvg THEN (* condição de último piso em curso *)
  pvg_uPiso := 1;
ELSE
  pvg_uPiso := 0;
END_IF;
IF pvgC = 1 THEN (* condição de primeiro piso em curso *)
  pvg_lPiso := 1;
ELSE
  pvg_lPiso := 0;
END_IF;

(* Define movimentos em vel lenta na descida de PDA *)
IF (PDA_PAEixoE = 1) AND (enc3V > PDA_ptMdesc - PDA_ptDescL) THEN (* No eixo de entrega de material *)
  PDA_DescL := 1;
ELSIF (PDA_descR_atl = 1) AND (enc3V > arrH_pvg[pvgC] - PDA_ptDescL) THEN (* No eixo de entrega de material *)
  PDA_DescL := 1;
ELSE
  PDA_DescL := 0;
END_IF;

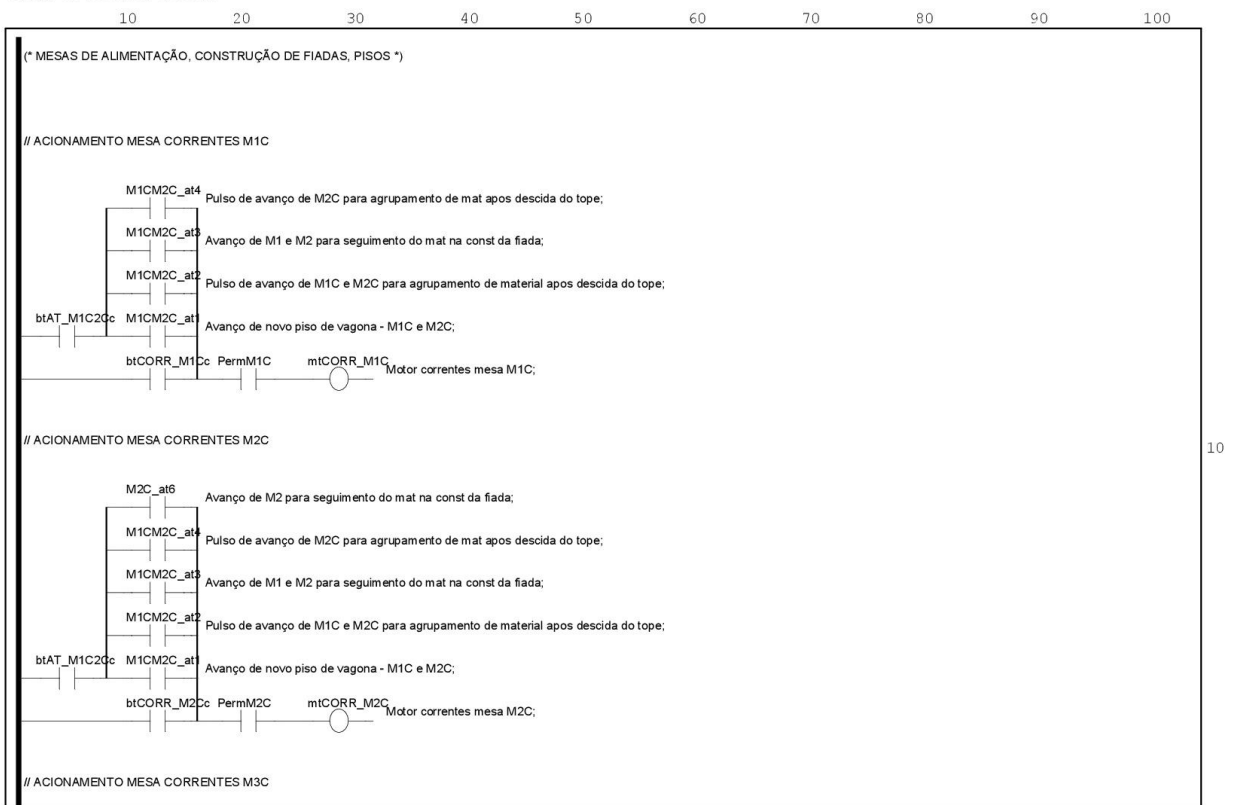
(* Define movimentos em vel lenta na subida de PDA *)
IF enc3V < PDA_ptSubL THEN
  PDA_SubL := 1;
ELSE
  PDA_SubL := 0;
END_IF;

(* Segurança abrir pinças - Não colocar em trabalho até verificar necessidade *)
IF btAT_PDac = 1 THEN
  FOR pvgI := 1 TO pcNpvg DO
    IF pvgC = pvgI THEN
      IF PDA_PAEixoR = 1 AND (enc3V > arrH_pvg[pvgC] - PDA_ptDescL) THEN
        PDA_segAbrir := 1;
      ELSE
        PDA_segAbrir := 0;
      END_IF;
    END_IF;
  END_FOR;
ELSE
  PDA_segAbrir := 0;
END_IF;
»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««

```

V.17 Mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos

Graph of section MesasFP

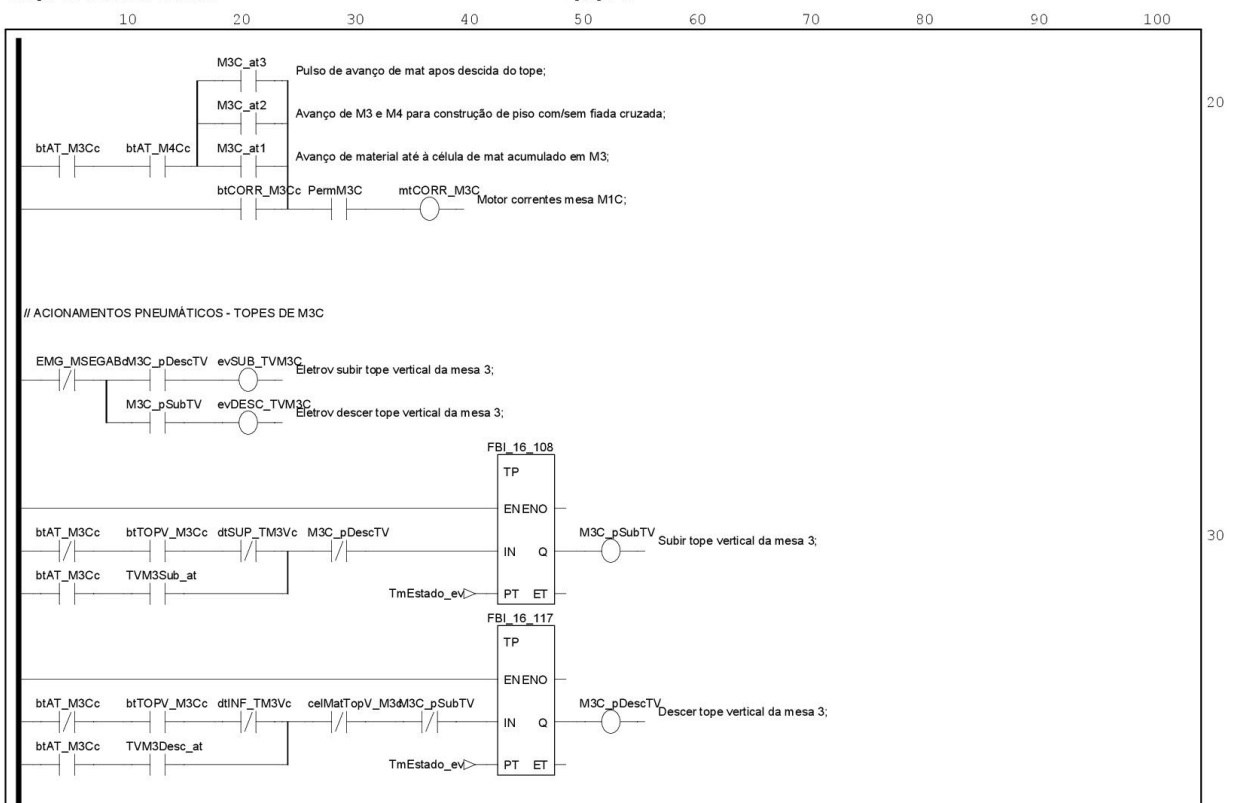


> page 2

page: 1

Graph of section MesasFP

< page 1

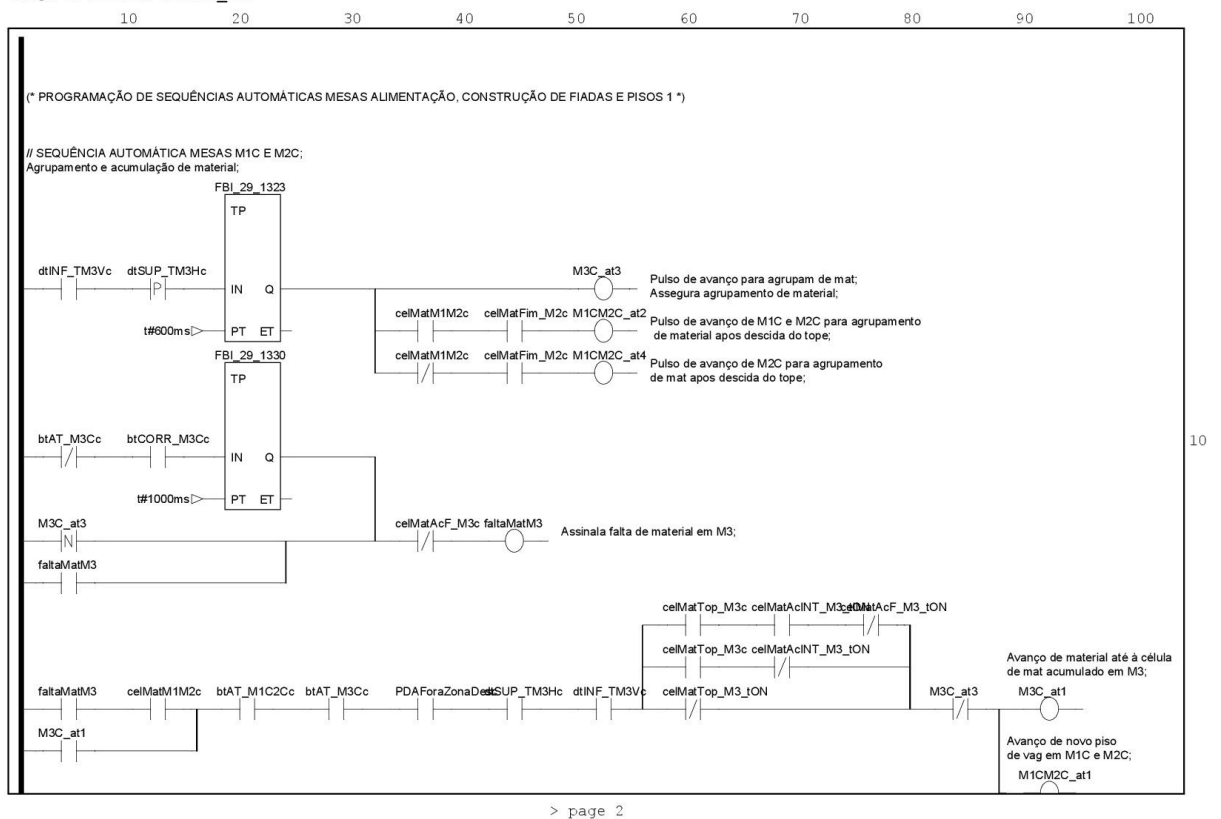


> page 3

page: 2

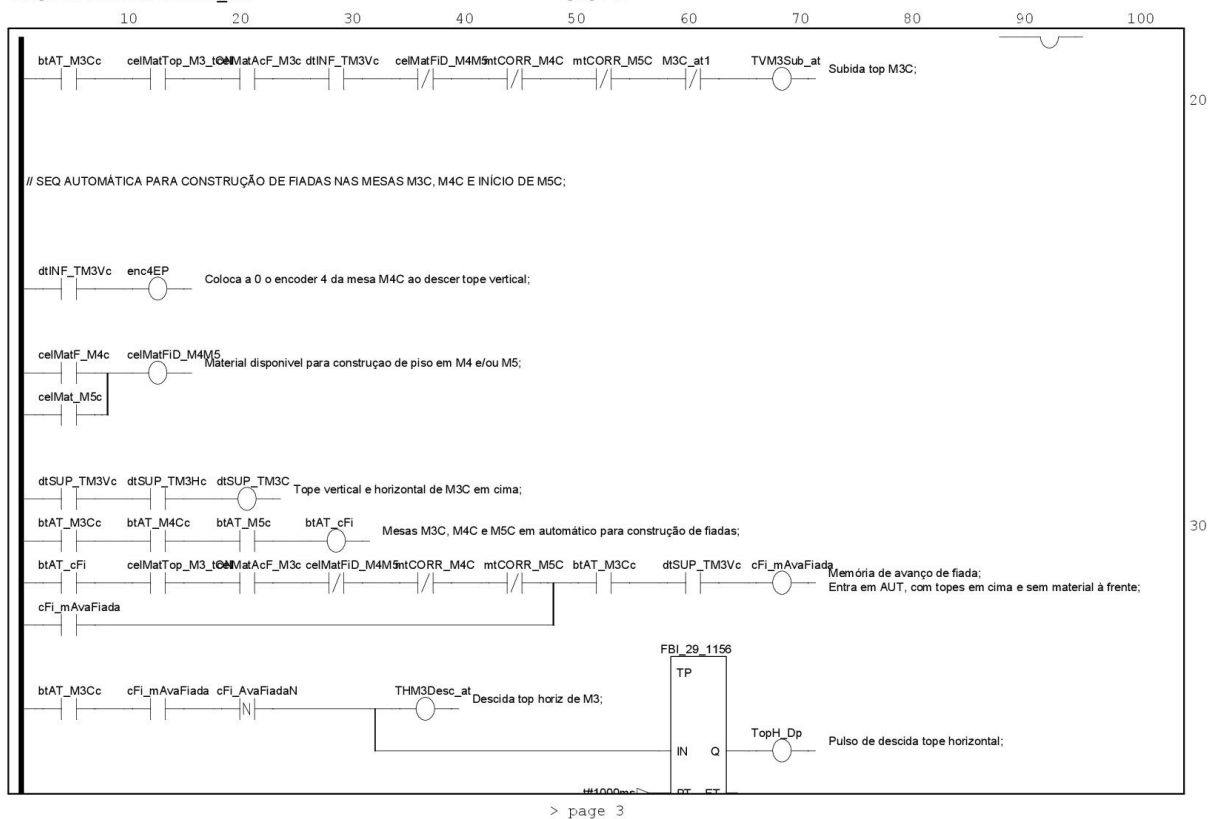
V.18 Sequências automáticas mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos (1)

Graph of section MesasFP_at1



page: 1

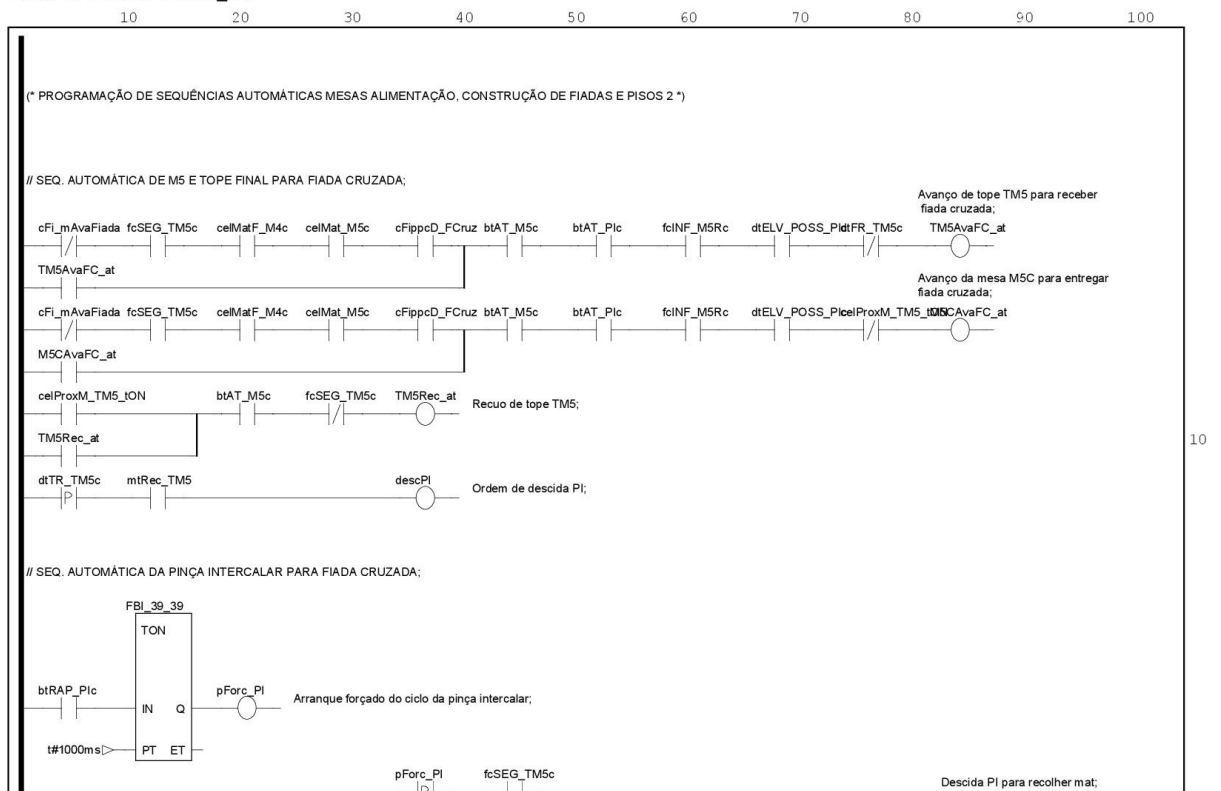
Graph of section MesasFP_at1



page: 2

V.19 Sequências automáticas mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos (2)

Graph of section MesasFP_at2

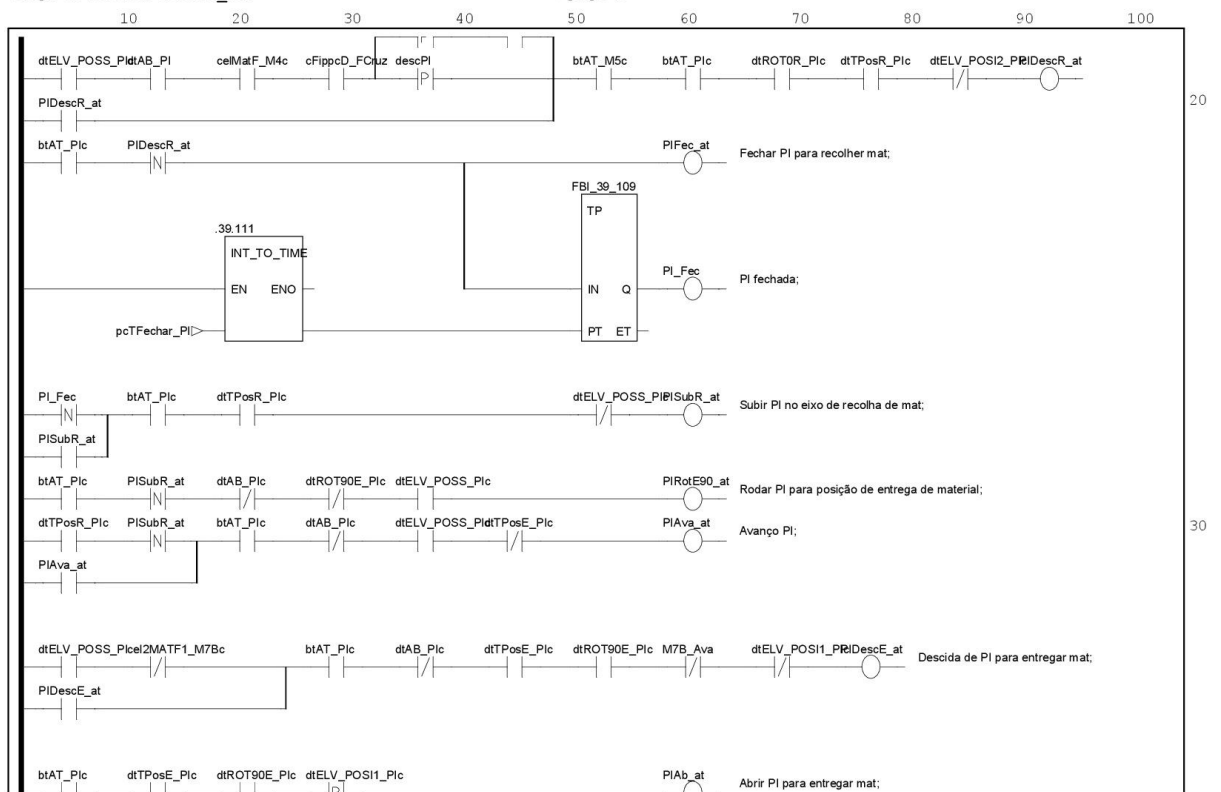


> page 2

page: 1

Graph of section MesasFP_at2

< page 1

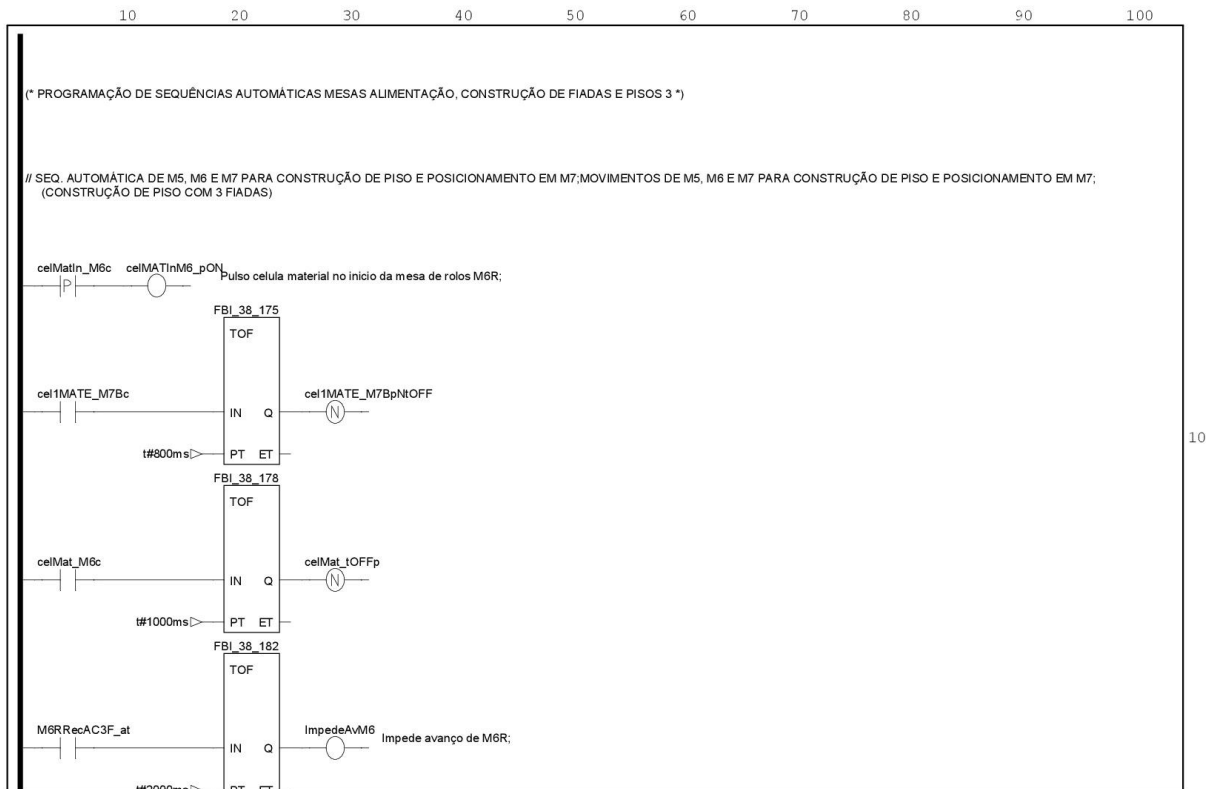


> page 3

page: 2

V.20 Sequências automáticas mesas de alimentação, construção de fiadas e pisos (3)

Graph of section MesasFP_at3

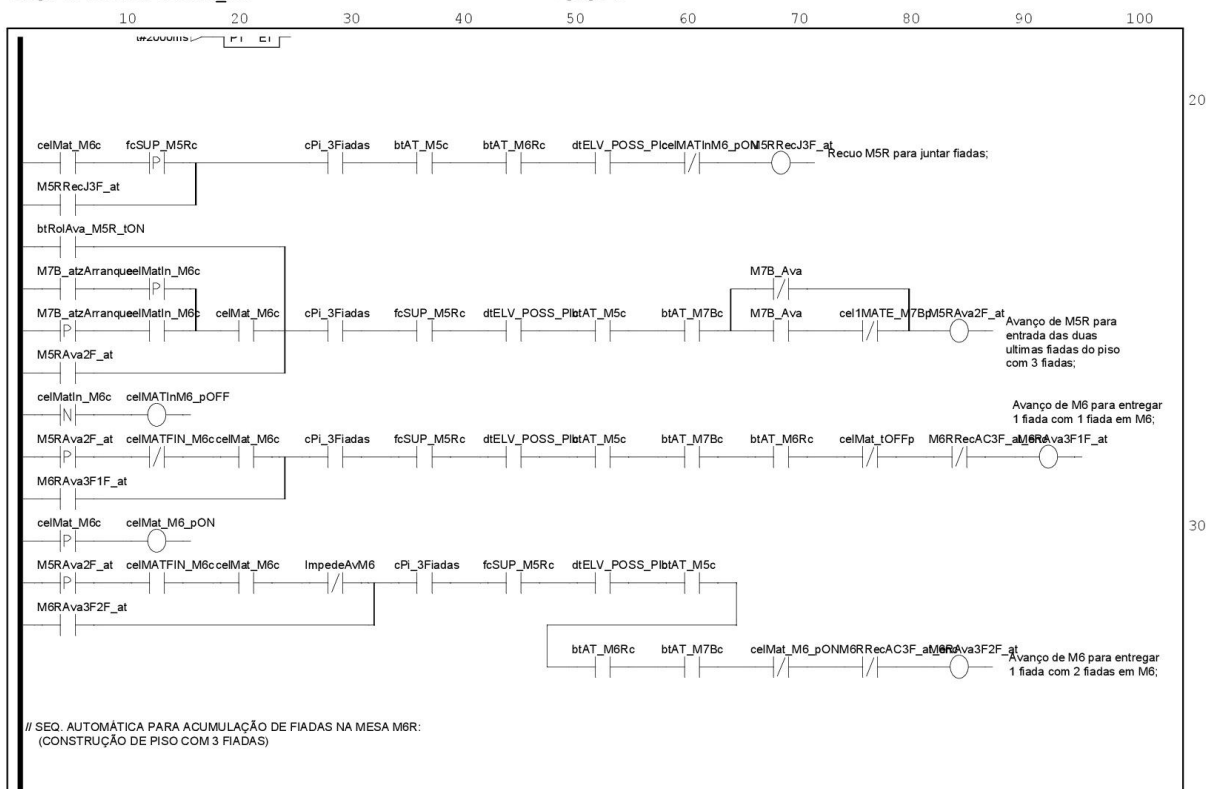


> page 2

page: 1

Graph of section MesasFP_at3

< page 1



> page 3

page: 2

V.21 Programação de fiadas e pisos

Listing of section pFiadasPisos

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* PROGRAMAÇÃO DE FIADAS E PISOS *)

(* Transições entre zonas de construção e estações:
10 A sequência começa com a programação do primeiro piso da paleta em curso na zona de construção de fiada (cFi);
20 Após a passagem das fiadas (normais e cruzadas) do piso em curso (ppc) pelo tope vert de M3C, este quando desce
passa os valores do piso de cFi para cFiD e avança para o próximo piso (ppc) em cFi atualizando todos os valores
relacionados com a programação das fiadas;
30 Quando o material do piso chega ao fim de M4 e/ou início de M5 e está disponível para a construção de piso (cPi):
se a zona de construção de piso (cPi) está em espera, os valores de cFiD passam para cPi e o sistema avança com
a construção de piso em cPi;
se quando o material chega ao fim de M4 e/ou M5, a zona de construção de piso cPi ainda está em trabalho, então o
os valores de cFiD apenas passam para cPi assim que a zona de cPi esteja disponível (qdo M5R desce);
40 Após a construção de piso em cPi e quando a mesa de barras M7 pára o piso das várias estações (e1,e2,e3,e4 e e5)
atualizam;

Nomenclaturas:
pt - sigla de pontos de encoder;
fi - sigla de conjunto de peças separado no top da mesa M3 (normal ou cruzada);
fiC - sigla de fiada em curso;

pcNppal - pc Numero de pisos da paleta;

Modo de funcionamento:
ppc - sigla de piso de paleta em curso
10 O sistema funciona com base zonas de construção e estações (cFi, cFiD, cPi, e1, e2, e3, e4 e e5);
20 Quando não existe ppc numa zona ou estação, o valor de ppc é zero;
30 Sempre que existe uma transição todas as variáveis associadas a cada zona ou estação são calculadas em função do piso
da paleta atualizado, com base nos arrays internos do programa, que por sua vez são definidos pelo programa do material
em curso na entrada de dados;
O piso da paleta em curso (ppc) em cada zona ou estação é a única variável que possui seguimento entre todas as zonas
e estações. Garante a continuidade sequencial dos pisos das paletes ao longo da máquina da desenforma;
Em cada momento o sistema tem de saber qual o piso da paleta em curso em todas as zonas e estações;
40 O piso da paleta em curso em cada zona ou estação avança sequencialmente em função das transições;
50 Em M3 e M4 constrói-se o piso da paleta associado a cFippc;
60 Quando o tope vert de M3 desce, o valor de piso em cFippc transita para cFippcD e incrementa o piso
associado a cFippc;
70 No arranque de M3 e M4 com material disponível (cFippcD > 0) o valor de cFippcD transita para cFippc e coloca
cFippcD = 0, o que sinaliza que M3 e M4 aguardam novo material de cFi;
80 Ao parar M7, o valor de cFippc transita para e1ppc, e1ppc transita para e2ppc, e2ppc transita para e3ppc,
e3ppc transita para e4ppc e e4ppc transita para e5ppc;

Variáveis internas de programação:
cFi - zona de construção de fiada para piso de paleta;
cFippc - próximo ou piso de paleta em curso na zona de construção de fiadas;
após a descida do top vert de M3 guarda o próximo ppc até à próxima descida do top;
cFippc_NF - nº de fiadas do piso de paleta em curso na zona de construção de fiadas;
cFippc_NFF - nº de peças das fiada do piso de paleta em curso na zona de construção de fiadas;
cFippc_NFFC - nº de peças das fiadas cruzadas do piso de paleta em curso na zona de constr de fiadas;
cFippc_Rep - nº da repetição do piso de paleta em curso (1-2) na zona de construção de fiadas;
cFippc_NRep - nº de repetições do piso de paleta em curso na zona de constr de fiadas (1-2);
cFippc_FC (bool) - piso de paleta em curso com fiada cruzada (0-1) na zona de construção de fiadas;
cFippc_LC (real) - distancia [mm] de avanço de fiada cruzada do piso de paleta em curso na zona de constr de fiadas;
cFippc_LCpt (dint) - distancia [pt] de avanço de fiada cruzada do piso de paleta em curso na zona de constr de fiadas;
cFippc_L (real) - comprimento de avanço em [mm] da fiada normal do piso de paleta em curso na zona de constr de fiadas;
cFippc_Lpt (dint) - comprimento de avanço em [pt] da fiada normal do piso de paleta em curso na zona de constr de fiadas;
cFiD
cFippcD - piso paleta em curso disponível em M3 e M4, após zona de construção de fiadas;
(recebe valor de ppc disponível de cFippc quando cFippc está pronta para avançar na cPi;
passa valor para cFippc no arranque da/s fiada/s e coloca a 0 até receber novo valor;
o avanço do material para cPi só acontece qdo cFippcD > 0;)
cFippcD_NF - nº de fiadas do ppc na zona de fiadas disponíveis;
cFippcD_NFF - nº de peças das fiada do ppc na zona de fiadas disponíveis;
cFippcD_NFFC - nº de peças das fiadas cruzadas do ppc na zona de fiadas disponíveis;
cFippcD_tipo - composição do piso de paleta em curso (1-2-3) na zona de fiadas disponíveis;
Determina a seq trab na construção do piso;
(=1) - piso com 2 fiadas paralelas e sem fiada cruzada
(=2) - piso com 2 fiadas paralelas e com fiada/s cruzada
(=3) - piso com 3 fiadas paralelas e sem fiada cruzada
cFippcD_dTopF - dist [mm] do top final para fiada normal do piso de pal em curso na zona de constr de fiadas disponíveis;
cFippcD_dTopFpt - distancia [pt] do top final para fiada normal do piso de pal em curso na zona de constr de fiadas disp;
cFippcD_dTopFC - distancia [mm] top final para fiada cruzada do piso pal em curso na zona de constr de fiadas disp;
cFippcD_dTopFCpt - distancia [pt] top final para fiada cruzada do piso pal em curso na zona de constr de fiadas disp;
cFippcD_dAvaUFIM7 - dist (mm) de arranque da ultima fiada para M7 do piso da paleta em curso na zona de constr fiadas disp;
cFippcD_dAvaUFIM7pt - dist (pt) de arranque da ultima fiada para M7 do piso paleta em curso na zona constr de fiadas disp;
cPi - zona de construção de piso de paleta;
cFippc - piso de paleta em curso na zona de construção de piso;
```

> page 2

page: 1

```

cFippc_tipo - composição do piso de paleta em curso (1-2-3) na zona de construção de piso;
               Determina a seq trab na construção do piso;
               (=1) - piso com 2 fiadas paralelas e sem fiada cruzada
               (=2) - piso com 2 fiadas paralelas e com fiada/s cruzada
               (=3) - piso com 3 fiadas paralelas e sem fiada cruzada
cFippc_dTopF (real) - dist [mm] do top final para fiada normal do piso de pal em curso na zona de constr de piso;
cFippc_dTopFpt (dint) - dist [pt] do top final para fiada normal do piso de pal em curso na zona de constr de piso;
cFippc_dTopFC (real) - dist [mm] top final para fiada cruzada do piso pal em curso na zona de constr de piso;
cFippc_dTopFCpt (dint) - dist [pt] top final para fiada cruzada do piso pal em curso na zona de constr de piso;
cFippc_dAvaUFiM7 (real) - dist (mm) de arranque da ultima fiada para M7 do piso da paleta em curso na zona de constr piso;
cFippc_dAvaUFiM7pt (dint) - dist (pt) de arranque da ultima fiada para M7 do piso paleta em curso na zona constr piso;
e1ppc - estação 1 de M7 (MC - mesa compactadora)
e1ppc - piso de paleta em curso na estação 1 (PC) de M7;
e2ppc - estação 2 de M7 (espaço vazio)
e2ppc - piso de paleta em curso na estação 2 (vazio) de M7;
e3ppc - estação 3 de M7 (MC - máquina de cintar)
e3ppc - piso de paleta em curso na estação 3 (MC) de M7;
e3ppc_Cinta (bool) - cintagem (0-1) do piso da paleta em curso na estação 3 de M7;
e4ppc - estação 4 de M7 (FP1 - pinça de paletização 1)
e4ppc - piso de paleta em curso na estação 4 (FP1) de M7;
e4ppc_Rot (bool) - Rotação (0-1) do piso de paleta em curso na estação 4 (FP1) de M7;
e5ppc - posição 5 de M7 (FP2 - pinça de paletização 2)
e5ppc - piso de paleta em curso na estação 5 (FP2) de M7;
e5ppc_Rot (bool) - Rotação (0-1) do piso de paleta em curso na estação 5 (FP2) de M7; *)

(* Controlo da var [PDAForaZonaDesc]
   Permite avanço das mesas de descarga M1C e M2C após PDA largar o material e começar a subir *)
IF (PDA_PAEixoR = 1) OR ((PDA_PAEixoR <> 1) AND (enc3V < INT_TO_DINT (IN := pcPDA_HForaZDesc))) THEN
  PDAForaZonaDesc := 1;
ELSE
  PDAForaZonaDesc := 0;
END_IF;

(* Define fiada em curso para acerto inicial em função a botoneira [bt_acIniF] - desloca 1 fiada para M6 *)
IF btAcertoFic = 0 THEN
  cFippc_FiAcerto := 0;
ELSE
  cFippc_FiAcerto := 1;
END_IF;

(* Define n° de repetições da fiada em curso em função da botoneira [bt_cREP] *)
IF btCancRppalc = 1 THEN
  cFippc_NRep := 1;
ELSE
  cFippc_NRep := 2;
END_IF;

(* Reset global de pisos em curso *)
IF cFippcResetG = 1 THEN
  cFippc := 1;
  cFippc_Rep := 1;
  cFippc_NF := arrNF_ppal[1];
  cFippc_NFF := arrNFF_ppal[1];
  cFippc_NPFC := arrNPFC_ppal[1];
  IF cFippc_NPFC = 0 THEN
    cFippc_FCruz := 0;
    cFippc_LC := 0.0;
    (* Sem fiada cruzada *)
  ELSE
    cFippc_FCruz := 1;
    cFippc_LC := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPFC * pg05_matA - pcPAR_dEixoTVM3);
    (* Com fiada cruzada *)
  END_IF;
  cFippc_LOpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippc_LC * resENC4) - erroEnc4;
  cFippc_L := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NFF * pg05_matA - pcPAR_dEixoTVM3);
  cFippc_Lpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippc_L * resENC4) - erroEnc4;
  IF cFippc_NF = 3 THEN
    cFi_3Fiadas := 1;
  ELSE
    cFi_3Fiadas := 0;
  END_IF;
  cFi_Mat := pg02_mat;

  cFippcD := 0;
  cFippcD_NF := 0;
  cFippcD_NFF := 0;
  cFippcD_NPFC := 0;
  cFippcD_tipo := 0;
  cFippcD_FCruz := 0;
  cFippcD_dTopFC := 0.0;
  cFippcD_dTopFCpt := 0;

```

```

cFippcD_dTopF := 0.0;
cFippcD_dTopFpt := 0;
cFippcD_dAvaUFiM7 := 0.0;
cFippcD_dAvaUFiM7pt := 0;
cFippcD_Rep := 0;
cFiD_Mat := 0;
cFiD_3Fiadas := 0;

cPippc := 0;
cPippc_Mat := 0;
cPippc_Rep := 0;
cPi_3Fiadas := 0;
cPippc_NF := 0;
cPippc_NPF := 0;
cPippc_NPFC := 0;
cPippc_tipo := 0;
cPippc_FCruz := 0;
cPippc_dTopFC := 0.0;
cPippc_dTopFOpt := 0;
cPippc_dTopF := 0.0;
cPippc_dTopFpt := 0;
cPippc_dAvaUFiM7 := 0.0;
cPippc_dAvaUFiM7pt := 0;

cPiTppc := 0;
cPiTppc_Mat := 0;
cPiTppc_Rep := 0;

e1ppc := 0;
e1_Mat := 0;
e1_Rep := 0;
e2ppc := 0;
e2_Mat := 0;
e2_Rep := 0;
e3ppc := 0;
e3_Mat := 0;
e3_Rep := 0;
e3_Cinta := 0;
e4ppc := 0;
e4_Mat := 0;
e4_Rep := 0;
e4_Rot := 0;
e5ppc := 0;
e5_Mat := 0;
e5_Rep := 0;
e5_Rot := 0;

END_IF;

(* Reset de piso em curso na zona de construção de fiada cFi *)
IF cFippcReset = 1 THEN
  cFippc := 1;
  cFippc_Rep := 1;
  cFippc_NF := arrNF_ppal[1];
  cFippc_NPF := arrNPF_ppal[1];
  cFippc_NPFC := arrNPFC_ppal[1];
  IF cFippc_NPFC = 0 THEN (* Sem fiada cruzada *)
    cFippc_FCruz := 0;
    cFippc_LC := 0.0;
    cFippc_L := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPF * pg05_matA - pcPAR_dEixoTVM3);
  ELSE (* Com fiada cruzada *)
    cFippc_FCruz := 1;
    cFippc_LC := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPFC * pg05_matA - pcPAR_dEixoTVM3);
    cFippc_L := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPF * pg05_matA + pcAcertoFN);
  END_IF;
  cFippc_LOpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippc_LC * resENC4) - erroEnc4;
  cFippc_Lpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippc_L * resENC4) - erroEnc4;

  cFi_Mat := pg02_mat;
END_IF;

(* Troca piso em curso na zona de construção de fiada cFippc e atualiza piso disponível em cFippcD *)
IF cFi_pUpdate = 1 OR cFi_pUpdateHMI = 1 THEN (* Ao descer o tope 3 vert em AUT *)
  cFippcD := cFippc; (* Passa piso em curso de cFi para Disponível nas mesas M4 e m5 *)
  cFiD_Mat := cFi_Mat;
  cFippcD_Rep := cFippc_Rep;
  cFiD_Update := 1;
  (* Avança para a 2ª repetição *)
  IF (cFippc_NRep = 2 AND cFippc_Rep = 1) THEN

```

```

    cFippc_Rep := cFippc_Rep + 1;
    (* Incrementa o piso da paleta em curso e avança para a 1ª repetição do piso paleta seguinte *)
    ELSIF (cFippc_NRep = 2 AND cFippc_Rep = 2 AND cFippc < pg06_Nppal) OR (cFippc_NRep = 1 AND cFippc < pg06_Nppal) THEN
        cFippc_Rep := 1;
        cFippc := cFippc + 1;
        cFippc_NF := arrNF_ppal[cFippc];
        cFippc_NPF := arrNPF_ppal[cFippc];
        cFippc_NPFC := arrNPFC_ppal[cFippc];
        IF cFippc_NPFC = 0 THEN      (* Sem fiada cruzada *)
            cFippc_FCruz := 0;
            cFippc_LC := 0.0;
            cFippc_L := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPF * pg05_matA - pcPAR_dEixoTVM3);
        ELSE                        (* Com fiada cruzada *)
            cFippc_FCruz := 1;
            cFippc_LC := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPFC * pg05_matA - pcPAR_dEixoTVM3);
            cFippc_L := INT_TO_REAL (IN := cFippc_NPF * pg05_matA + pcAcertoFN);
        END IF;
        cFippc_LCpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippc_LC * resENC4) - erroEnc4;
        cFippc_Lpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippc_L * resENC4) - erroEnc4;
        (* Avança para o 1º piso paleta seguinte *)
        ELSIF (cFippc_NRep = 2 AND cFippc_Rep = 2 AND cFippc = pg06_Nppal) OR (cFippc_NRep = 1 AND cFippc = pg06_Nppal) THEN
            pc_cFippcReset := 1;
        END IF;
        cFi_Mat := pg02_mat;
    END IF;

    IF cFiD_pUpdate = 1 THEN
        cFippcD_NF := arrNF_ppal[cFippcD];
        cFippcD_NPF := arrNPF_ppal[cFippcD];
        cFippcD_NPFC := arrNPFC_ppal[cFippcD];
        IF cFippcD_NF = 2 AND cFippcD_NPFC = 0 THEN
            cFippcD_tipo := 1;                                     (* piso com 2 fiadas paralelas e sem fiada cruzada; *)
        END IF;
        IF cFippcD_NF = 2 AND cFippcD_NPFC > 0 THEN
            cFippcD_tipo := 2;                                     (* piso com 2 fiadas paralelas e com fiada cruzada; *)
        END IF;
        IF cFippcD_NF = 3 AND cFippcD_NPFC = 0 THEN
            cFippcD_tipo := 3;                                     (* piso com 3 fiadas paralelas e sem fiada cruzada; *)
        END IF;
        IF cFippcD_NPFC = 0 THEN
            cFippcD_FCruz := 0;                                     (* Sem fiada cruzada *)
            cFippcD_dTopFC := 0.0;
        ELSE
            cFippcD_FCruz := 1;                                     (* Com fiada cruzada *)
            cFippcD_dTopFC := INT_TO_REAL (IN := arrDtopFC_ppal[cFippcD]);
        END IF;
        cFippcD_dTopFCpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippcD_dTopFC * resCIMP1);
        cFippcD_dTopF := INT_TO_REAL (IN := arrDtopFN_ppal[cFippcD]);
        cFippcD_dTopFpt := REAL_TO_DINT (IN := cFippcD_dTopF * resCIMP1);
        cFippcD_dAvaUFim7 := DINT_TO_REAL (IN := arrDAvaUfim7_ppal[cFippcD]);
        cFippcD_dAvaUFim7pt := REAL_TO_DINT (IN := cFippcD_dAvaUFim7 * resCIMP1);
    END IF;

    (* Troca piso em curso na zona de construção de piso cPippc *)
    IF cPi_pUpdate = 1 THEN
        cPippc_Rep := cFippcD_Rep;
        cPippc := cFippcD;
        cPippc_Mat := cFiD_Mat;
        cPippc_NF := arrNF_ppal[cPippc];
        cPippc_NPF := arrNPF_ppal[cPippc];
        cPippc_NPFC := arrNPFC_ppal[cPippc];
        IF cPippc_NPFC = 0 THEN
            cPippc_FCruz := 0;                                     (* Sem fiada cruzada *)
            cPippc_dTopFC := 0.0;
        ELSE
            cPippc_FCruz := 1;                                     (* Com fiada cruzada *)
            cPippc_dTopFC := INT_TO_REAL (IN := arrDtopFC_ppal[cPippcD]);
        END IF;
        cPippc_dTopFCpt := REAL_TO_DINT (IN := cPippc_dTopFC * resCIMP1);
        cPippc_dTopF := INT_TO_REAL (IN := arrDtopFN_ppal[cPippcD]);
        cPippc_dTopFpt := REAL_TO_DINT (IN := cPippc_dTopF * resCIMP1);
        cPippc_dAvaUFim7 := DINT_TO_REAL (IN := arrDAvaUfim7_ppal[cPippcD]);
        cPippc_dAvaUFim7pt := REAL_TO_DINT (IN := cPippc_dAvaUFim7 * resCIMP1);
        IF cPippc_NF = 3 THEN
            cPi_3Fiadas := 1;
        ELSE
            cPi_3Fiadas := 0;
        END IF;
    END IF;
END IF;

```

```

IF cPiT_pUpdate = 1 THEN
  cPiTppc := cPiPPc;
  cPiTppc_Mat := cPiPPc_Mat;
  cPiTppc_Rep := cPiPPc_Rep;
END_IF;

(* Atualiza ppc nas estações de M7; *)
IF eM7_pUpdate = 1 OR eM7_AvaPiso = 1 THEN
  IF e4ppc = e5ppc THEN
    PP_Mat := e4_Mat;
  END_IF;
  e5ppc := e4ppc;
  e5_Mat := e4_Mat;
  e5_Rot := INT_TO_BOOL (IN := arrRot_ppal[e5ppc]);
  e5_Rep := e4_Rep;
  e4ppc := e3ppc;
  e4_Mat := e3_Mat;
  e4_Rot := INT_TO_BOOL (IN := arrRot_ppal[e4ppc]);
  e4_Rep := e3_Rep;
  e3ppc := e2ppc;
  e3_Mat := e2_Mat;
  e3_Cinta := INT_TO_BOOL (IN := arrCinta_ppal[e3ppc]);
  e3_Rep := e2_Rep;
  e2ppc := e1ppc;
  e2_Mat := e1_Mat;
  e2_Rep := e1_Rep;
  e1ppc := cPiTppc;
  e1_Mat := cPiTppc_Mat;
  e1_Rep := cPiTppc_Rep;
END_IF;

(* Programação de espaçamentos no avanço de fiadas de material em cFi *)
IF cFiPPc_FCruz = 1 THEN
  (* Movimentos com fiada cruzada no avanço em curso *)
  IF enc4V < cFiPPc_LCpt THEN
    (* Avanço da fiada cruzada *)
    cFi_AvaFiadaC := 1;
    cFi_AvaFiadaN := 0;
    cFi_ParIntermM3 := 0;
  END_IF;
  IF enc4V > cFiPPc_LCpt AND enc4V < espFiadaspt THEN
    cFi_AvaFiadaC := 0;
    cFi_ParIntermM3 := 1;
    cFi_AvaFiadaN := 0;
  END_IF;
  IF enc4V > (espFiadaspt) AND enc4V < (espFiadaspt + cFiPPc_Lpt) THEN
    cFi_AvaFiadaC := 0;
    cFi_ParIntermM3 := 0;
    cFi_AvaFiadaN := 1;
  END_IF;
  IF enc4V > (espFiadaspt + cFiPPc_Lpt) THEN
    cFi_AvaFiadaC := 0;
    cFi_ParIntermM3 := 0;
    cFi_AvaFiadaN := 0;
    IF celMatFiD_M4M5 = 0 THEN
      cFi_AvaFinalFiadas := 1;
    ELSE
      cFi_AvaFinalFiadas := 0;
    END_IF;
  END_IF;
END_IF;

IF cFiPPc_FCruz = 0 THEN
  (* Movimento sem fiada cruzada no avanço em curso *)
  IF enc4V < cFiPPc_Lpt THEN
    (* Primeira paragem de M3 para sep da fiada cruzada *)
    cFi_AvaFiadaN := 1;
  ELSE
    cFi_AvaFiadaN := 0;
  END_IF;
  cFi_ParIntermM3 := 0;
  cFi_AvaFiadaC := 0;
END_IF;

(* Programação de posição de tope final TM5 para receber fiada normal *)
IF impiv > DINT_TO_INT (IN := cPiPPc_dTopFpt) THEN
  TM5_stopCIMPl := 1;
ELSE
  TM5_stopCIMPl := 0;
END_IF;

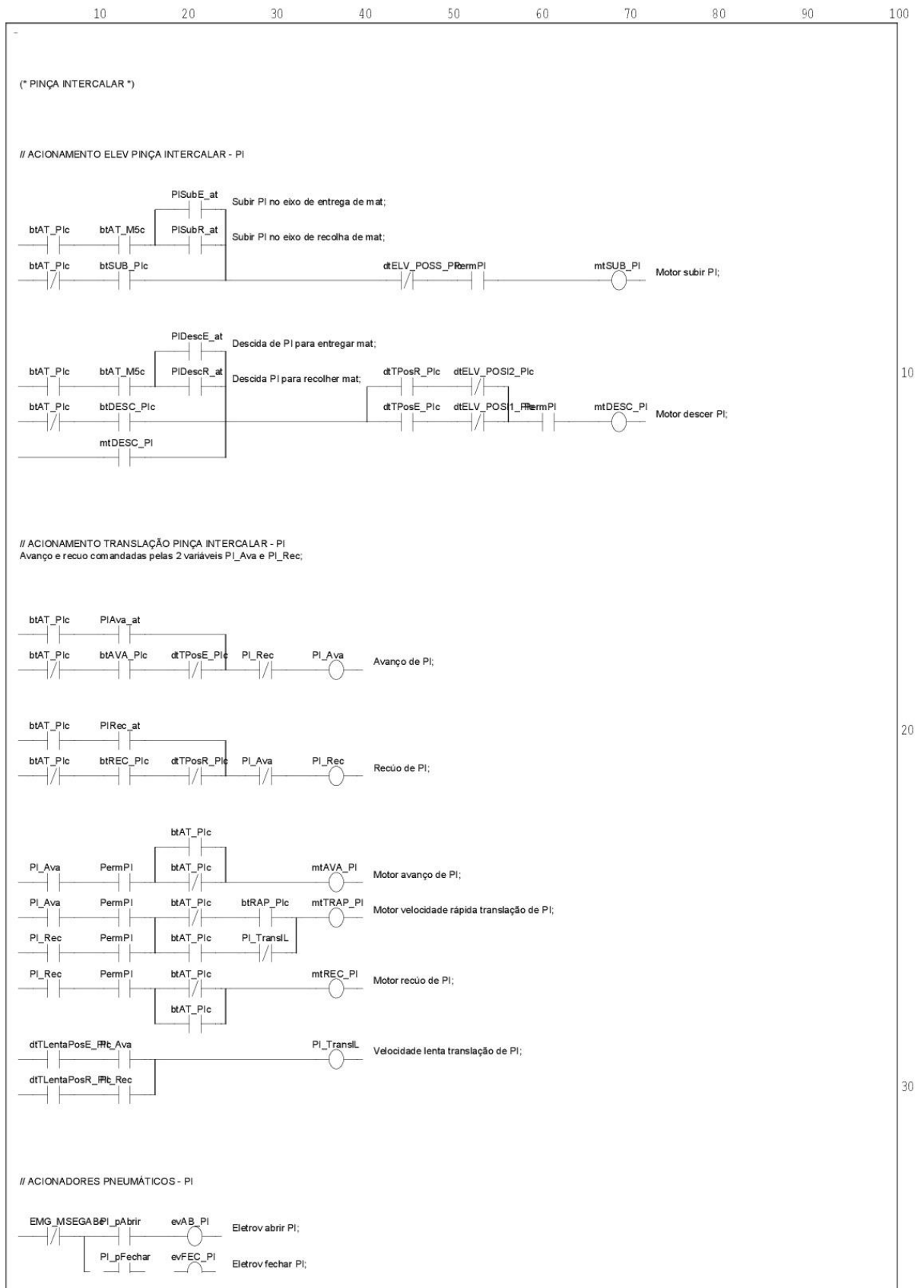
```

```
(* Programação de posição de arranque da segunda fiada e paragem final da mesa de barras M7B *)
IF enc5V > arrDAvaUfiM7_ppal[cPippc] THEN
    M5R_startENC5 := 1;
ELSE
    M5R_startENC5 := 0;
END_IF;
IF enc5V > M7BPasso_pt THEN
    M7B_stopENC5 := 1;
ELSE
    M7B_stopENC5 := 0;
END_IF;
```

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««

V.22 Pinça intercalar

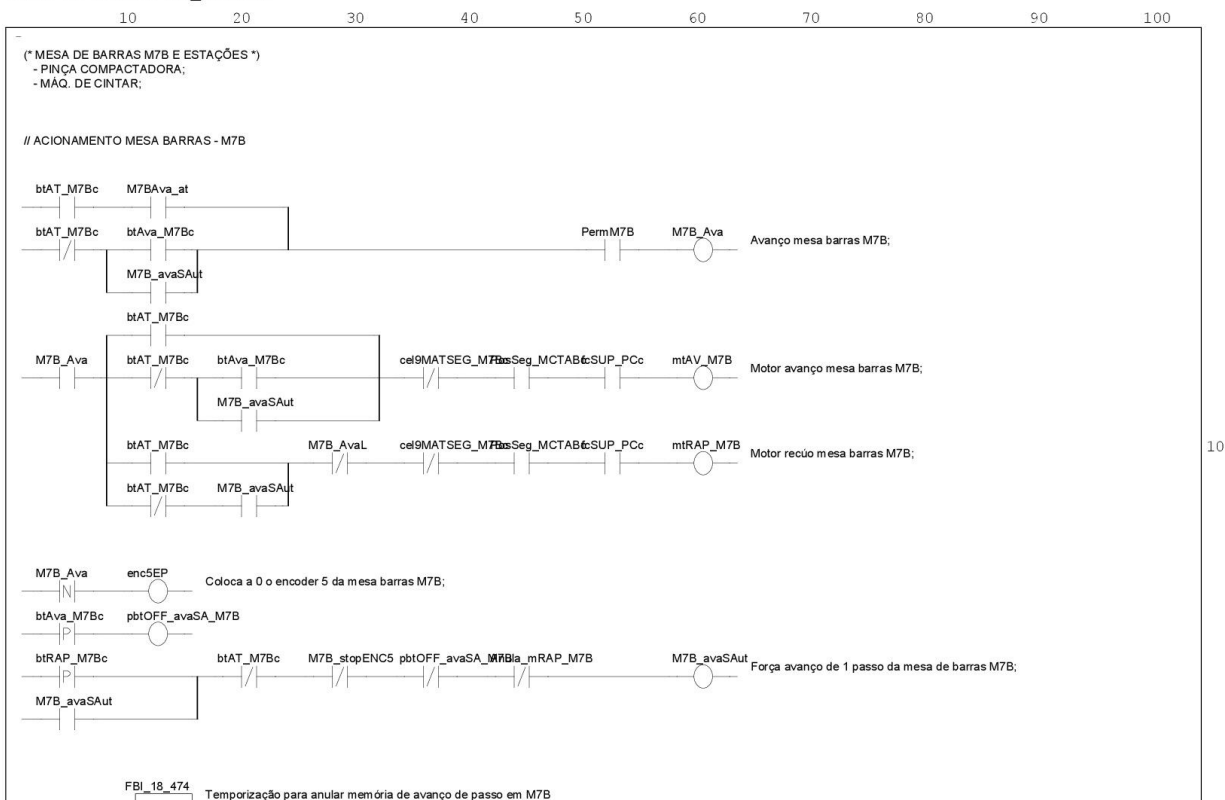
Graph of section PInterc



> page 2

V.23 Mesa de barras M7B e estações

Graph of section M7B_Estacoes

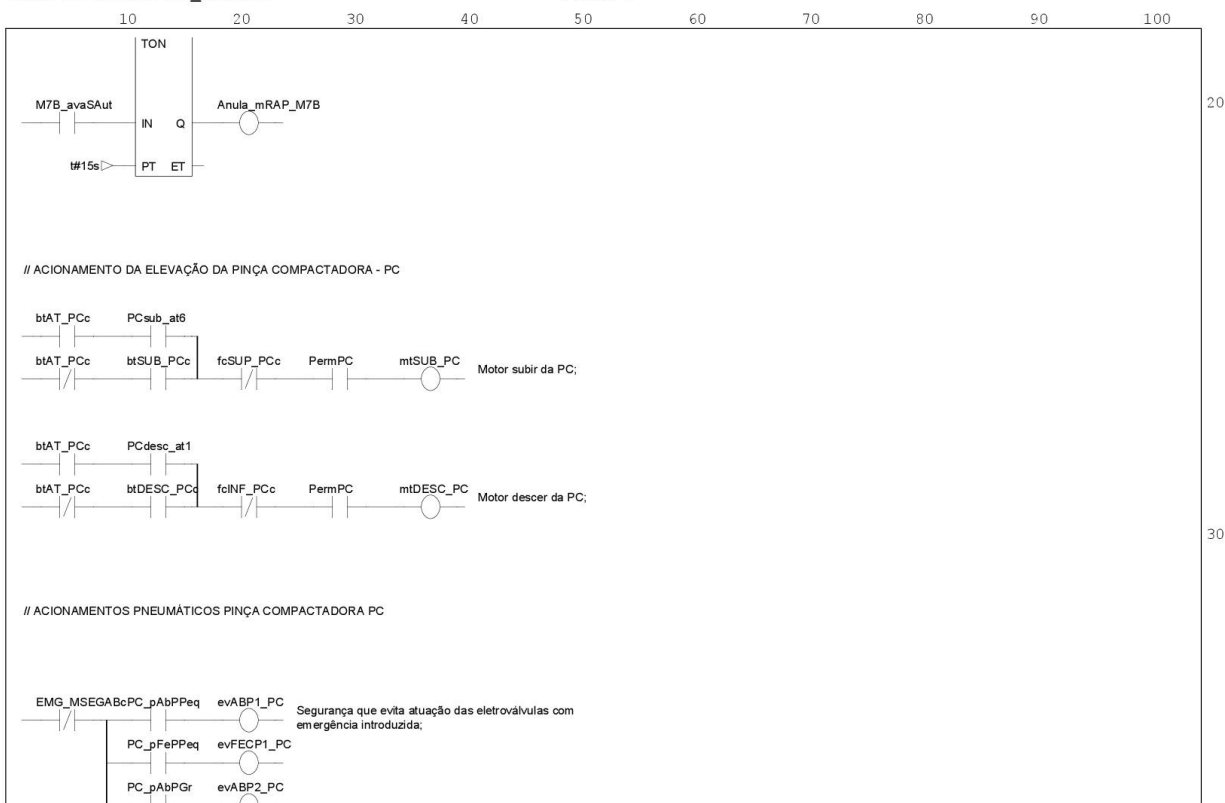


> page 2

page: 1

Graph of section M7B_Estacoes

< page 1



> page 3

page: 2

V.24 Mesa de barras M7B e estações (1)

Listing of section M7B_Estacoes1

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* MESA DE BARRAS M7B E ESTAÇÕES DE PC E MC *)

(* Define movimentos em vel lenta na desaceleração de M7B *)
IF enc5V > M7BPasso_pt - M7B_DLenta_pt THEN
  M7B_AvaL := 1;
ELSE
  M7B_AvaL := 0;
END_IF;

(* Evita a necessidade de compactar o piso *)
IF eM7_pUpdate = 1 AND cel4MATPC_M7Bc = 0 THEN
  autorizF_MCompactar := 1;
ELSE
  autorizF_MCompactar := 0;
END_IF;

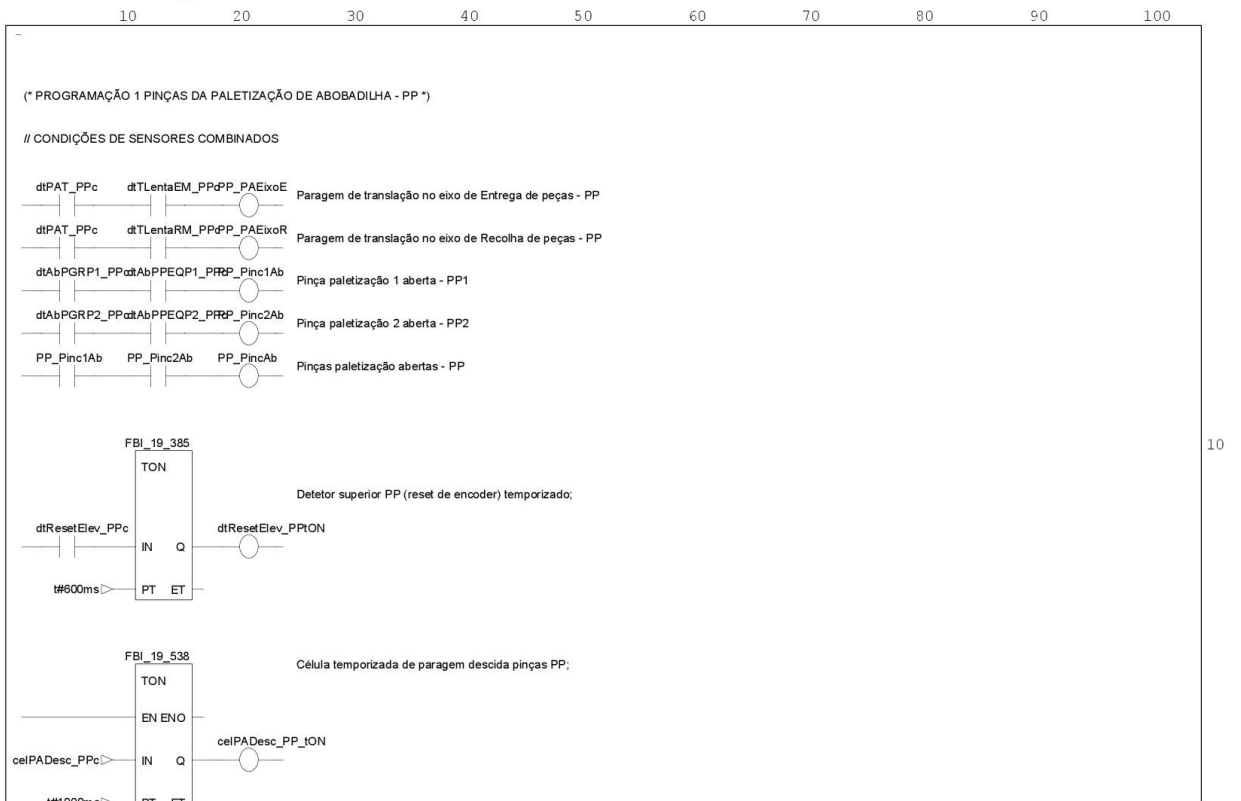
(* Evita a necessidade de cintar o piso *)
IF eM7_pUpdate = 1 AND (arrCinta_ppal[e3ppc] = 0 OR cel6MATMC_M7Bc = 0) THEN
  autorizF_MCintar := 1;
ELSE
  autorizF_MCintar := 0;
END_IF;

IF enc5V < 10 THEN
  permEnc5 := 1;
ELSE
  permEnc5 := 0;
END_IF;

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

V.25 Programação pinças de paletização de abobadilha (1)

Graph of section PP_PPaletizAb1

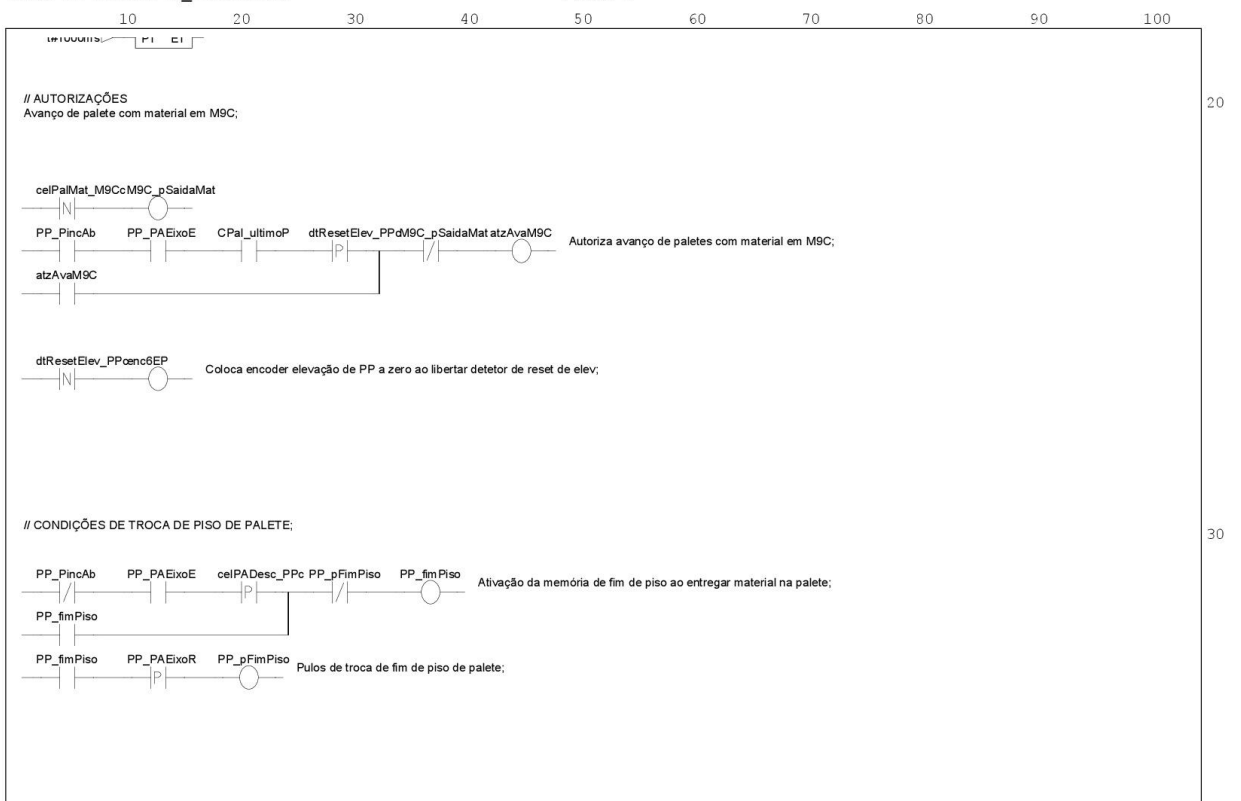


> page 2

page: 1

Graph of section PP_PPaletizAb1

< page 1



> page 3

page: 2

V.26 Programação pinças de paletização de abobadilha (2)

Listing of section PP_PPaletizAb2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* PROGRAMAÇÃO 1 PINÇAS DA PALETIZAÇÃO DE ABOBADILHA - PP *)

(* Nomenclatura:
  PP - sigla de Pinça de Paletização;
  pt - sigla de pontos de encoder;
  ppal - sigla de piso de paletes;
  ppalC5_PP - piso de paleta em curso na prog dos pisos nas PP;
  PP_pFimPiso - pulso de troca de piso de pinças de paletização;

(* Calcula em pts do encoder, as distâncias fixas associadas a PDA *)
PP_ptDescL := REAL_TO_DINT(IN := resENC6 * INT_TO_REAL (IN := pcDLentaPP)); (* distância de aproximação em vel lenta *)
PP_ptSubL := REAL_TO_DINT(IN := resENC6 * INT_TO_REAL (IN := pcSLentaPDAPP)); (* distância de aproximação em vel lenta *)
PP_ptHMRec := REAL_TO_DINT(IN := resENC6 * INT_TO_REAL (IN := pcHMRecPP)); (* altura mesas de descarga de material *)
PP_ptHSegRH := REAL_TO_DINT(IN := resENC6 * INT_TO_REAL (IN := pcHSegRH_PP)); (* altura de segurança recuo horiz da pinça *)

(* Segurança de impedimento de mov retorno de PP abaixo da altura definida *)
IF enc6V > PP_ptHSegRH THEN
  PP_SegRH := 1;
ELSE
  PP_SegRH := 0;
END_IF;

(* Define movimentos em vel lenta na descida de PDA *)
IF (PP_PAEixoR = 1) AND (enc6V > PP_ptHMRec - PP_ptDescL) THEN (* No eixo de entrega de material *)
  PP_DescL := 1;
ELSIF (PPdpE_at4 = 1) AND (enc6V > arrH_ppalPP[PPppalC] - PP_ptDescL) THEN (* No eixo de entrega de material *)
  PP_DescL := 1;
ELSE
  PP_DescL := 0;
END_IF;

(* Define movimentos em vel lenta na subida de PDA *)
IF enc6V < PP_ptSubL THEN
  PP_SubL := 1;
ELSE
  PP_SubL := 0;
END_IF;

(* Variável de último piso na construção da paleta em M9C *)
IF PPppalC = pg06_Nppal THEN
  CPal_ultimoP := 1;
ELSE
  CPal_ultimoP := 0;
END_IF;

(* Segurança abrir pinças - Não colocar em trabalho até verificar necessidade *)
IF PP_PAEixoE = 1 AND (enc6V > arrH_ppalPP[PPppalC] - PP_ptDescL / 2) THEN
  PP_atzAbrirP := 1;
ELSE
  PP_atzAbrirP := 0;
END_IF;
IF PP_PAEixoR = 1 THEN
  PP_atzAbrirP := 1;
END_IF;

(* Confirma sincronização entre pisos disponíveis em e4ppc e e5ppc e PPppalC obtido pelo movimento das pinças PP *)
IF dtResetElev_PPc = 1 AND PP_PAEixoR = 1 AND PP_PincAb = 1 AND cel7MatPPl_M7Bc = 1 AND
  cel9MatPP2_M7Bc = 1 AND M7B_Ava = 0 THEN
  IF e4ppc = e5ppc AND PPppalC = e4ppc THEN
    PPM7_SincOK := 1;
  ELSE
    PPM7_SincOK := 0;
  END_IF;
END_IF;
```

> page 2

page: 1

```
END_IF;
END_IF;

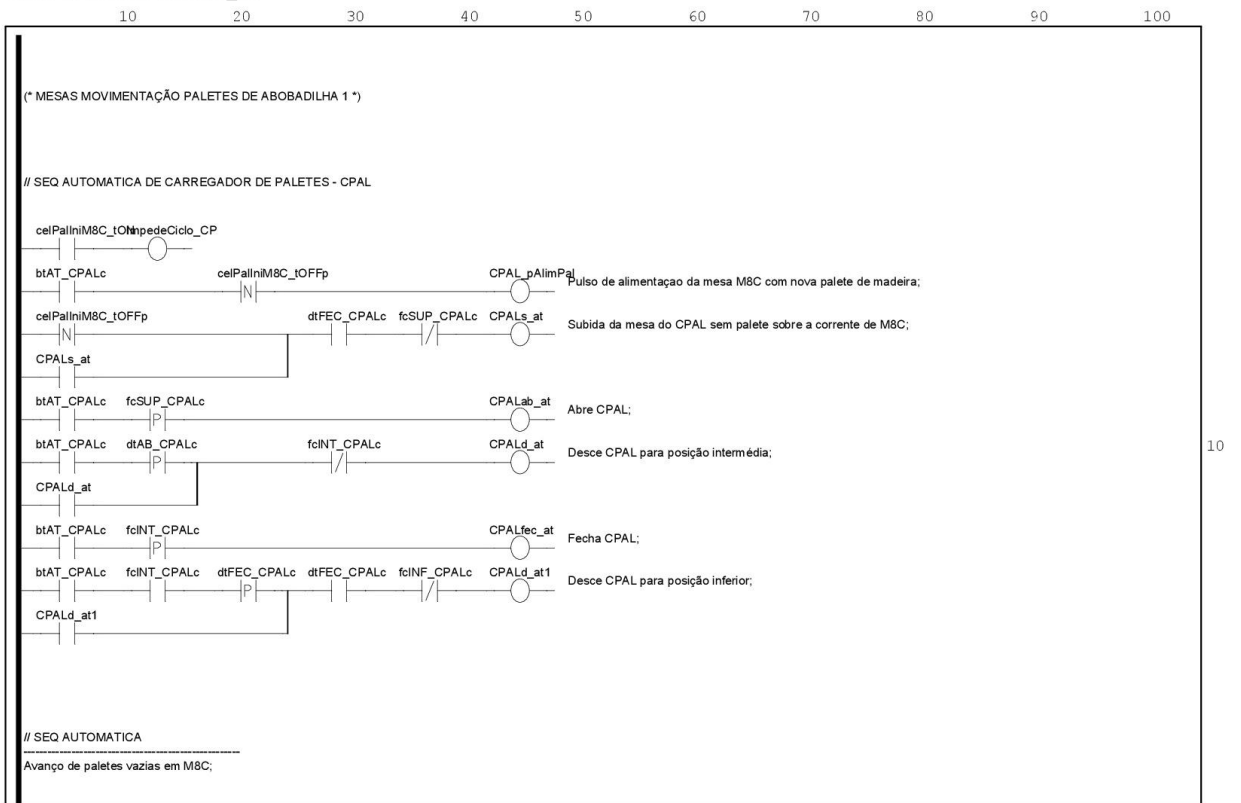
(* Troca de pisos e atualização de variáveis associadas pelo programa ou HMI *)
IF PP_pFimPiso = 1 OR ppalTroca_HMI = 1 THEN      (* Pulso troca piso def no momento de descarga do piso eixo de entrega *)
  IF PppalC > 0 AND PppalC < pg06_Nppal THEN
    PppalC := PppalC + 1;
  ELSE
    PppalC := 1;
  END_IF;
END_IF;
»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```

V.27 Mesas de movimentação de paletes de abobadilha



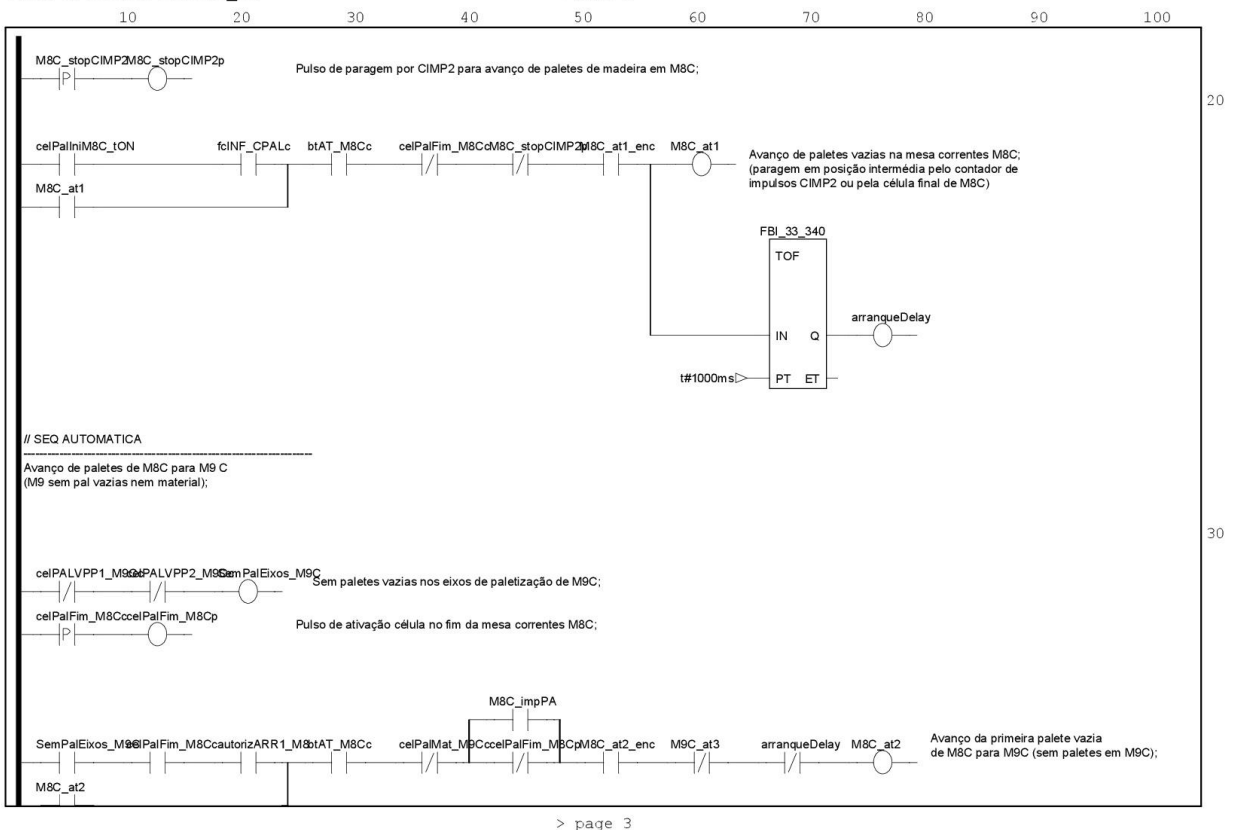
V.28 Programação de mesas de movimentação de paletes de abobadilha (1)

Graph of section MPAletAb_at1



page: 1

Graph of section MPAletAb_at1



page: 2

V.29 Programação de mesas de movimentação de paletes de abobadilha (2)

Listing of section MPaletAb_at2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* Paragem intermédia da palete de madeira sem palete no final da mesa M8 *)
IF M8C_at1 = 1 AND imp2v > dSepPALV_M8Cpt THEN
  M8C_stopCIMP2 := 1;
ELSE
  M8C_stopCIMP2 := 0;
END_IF;

(* Impede paragem de M8 no avanço da palete para a mesa M9 *)
IF imp2v < 40 THEN
  M8C_impPA := 1;
ELSE
  M8C_impPA := 0;
END_IF;

(* Calcula o valor do contador de impulsos da mesa M9 no instante em que chega nova palete
ao final da mesa M8, para determinar o momento de novo arranque de M8 em função do
espaçamento entre paletes vazias *)
IF M9C_at1 = 1 AND celPalFin_M8Cp = 1 THEN
  imp3v_Interm := imp3v;
END_IF;

(* Determina instante de arranque de nova palete no final de M8 *)
IF M9C_at1 = 1 AND imp3v > dSepEPALV_M9Cpt THEN
  M9C_start := 1;
ELSE
  M9C_start := 0;
END_IF;

(* Determina instante da subida do posicionador de pal vazias de M9 *)
IF M9C_at1 = 1 AND imp3v > dSubPPALV_M9C THEN
  M9C_subPPALV := 1;
ELSE
  M9C_subPPALV := 0;
END_IF;

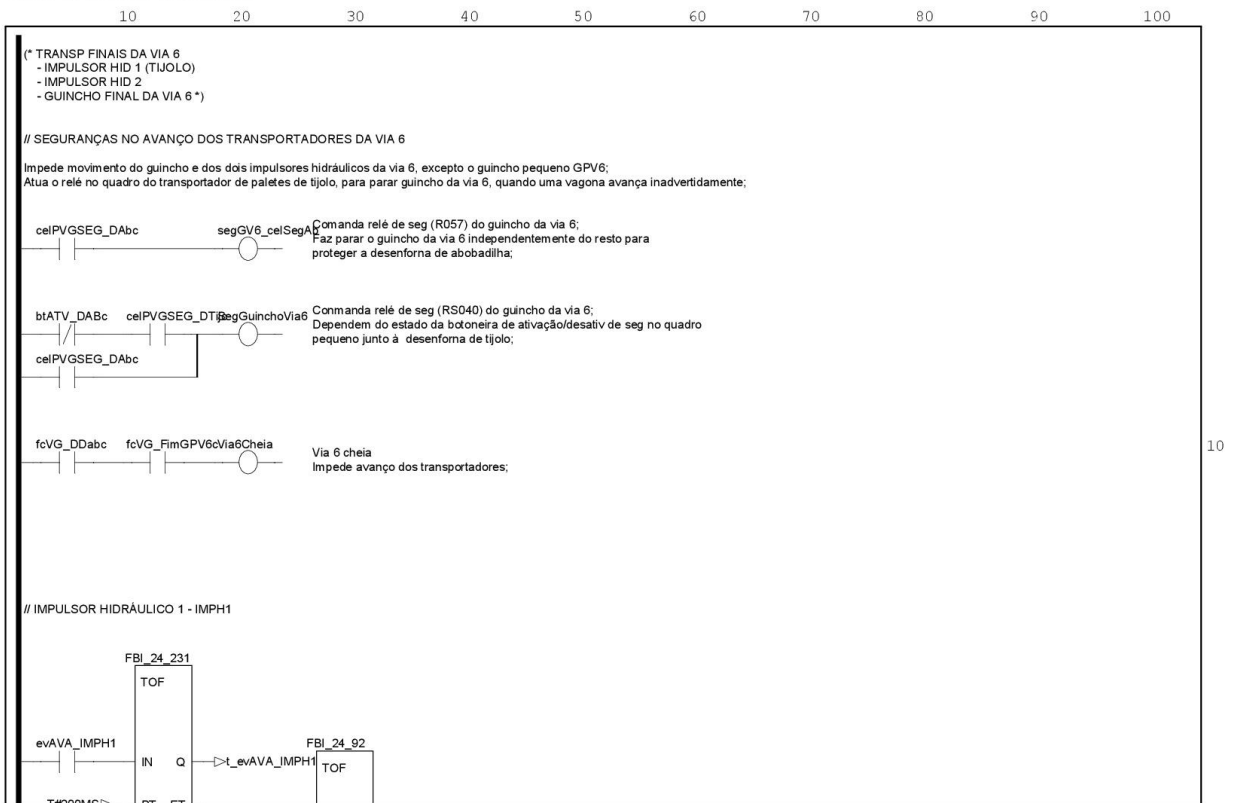
(* Determina instante de paragem de M9C *)
IF imp3v > dPa_M9C THEN
  M9C_stop := 1;
ELSE
  M9C_stop := 0;
END_IF;

(* Impede novo arranque de M8C_at2 *)
IF imp3v < 10 THEN
  autorizARR1_M8 := 1;
ELSE
  autorizARR1_M8 := 0;
END_IF;

»»»»»»»»»» Structured Text End ««««««««««
```


V.30 Transportadores finais da via 6

Graph of section TranspFVia6

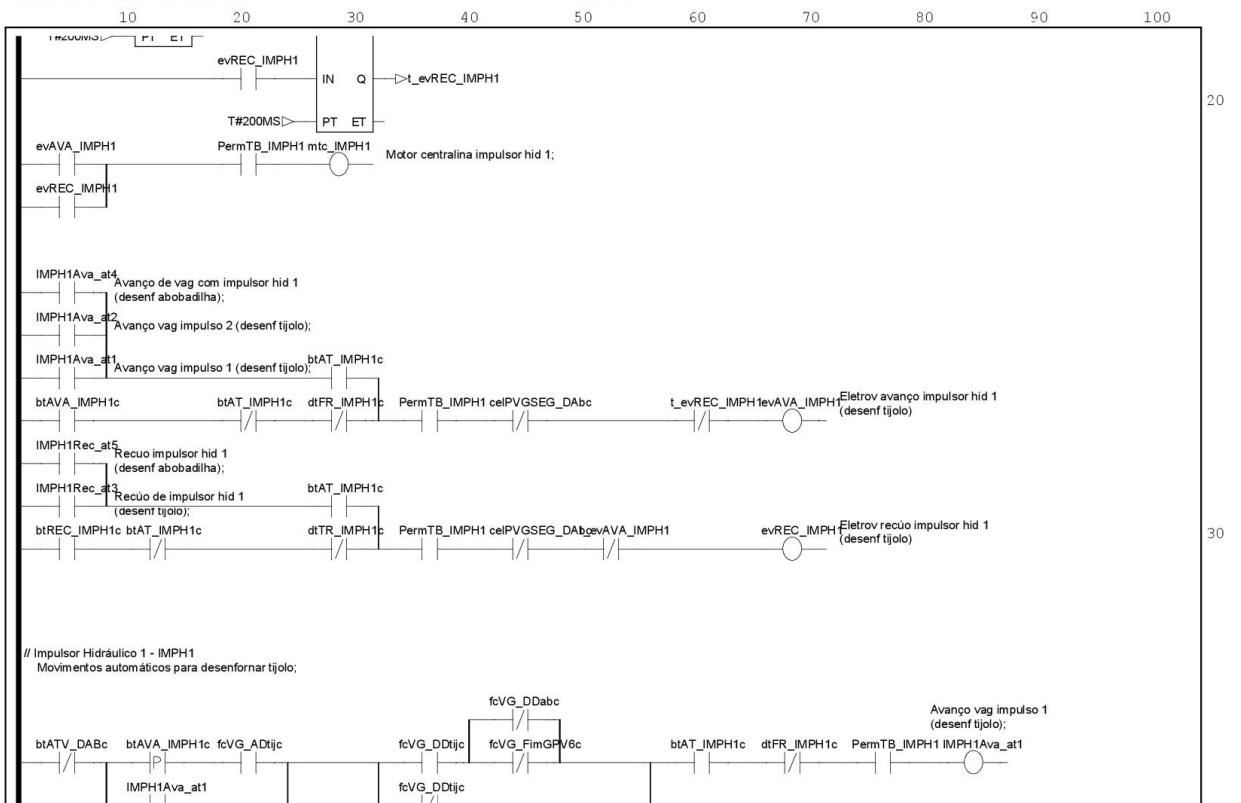


> page 2

page: 1

Graph of section TranspFVia6

< page 1

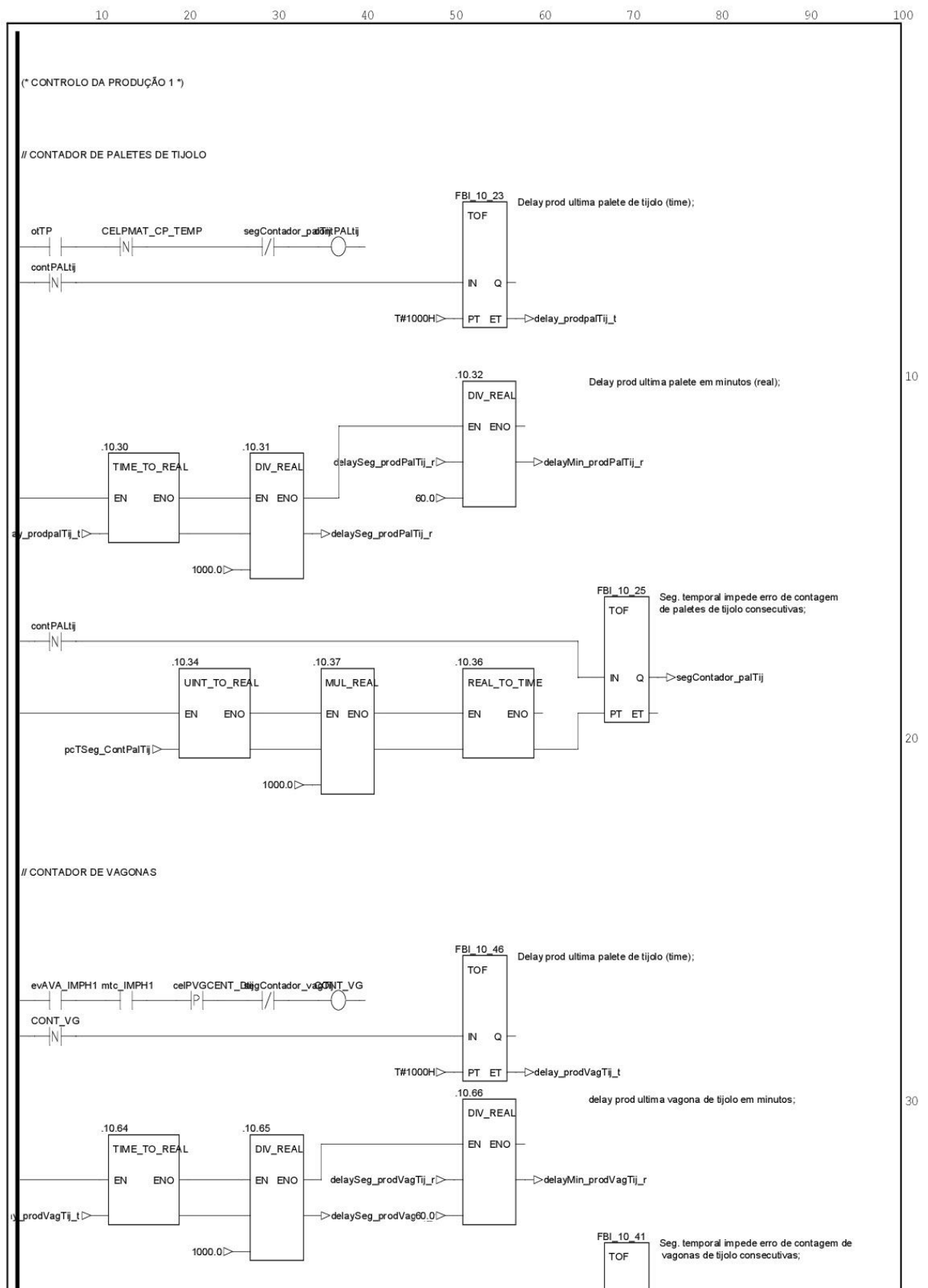


> page 3

page: 2

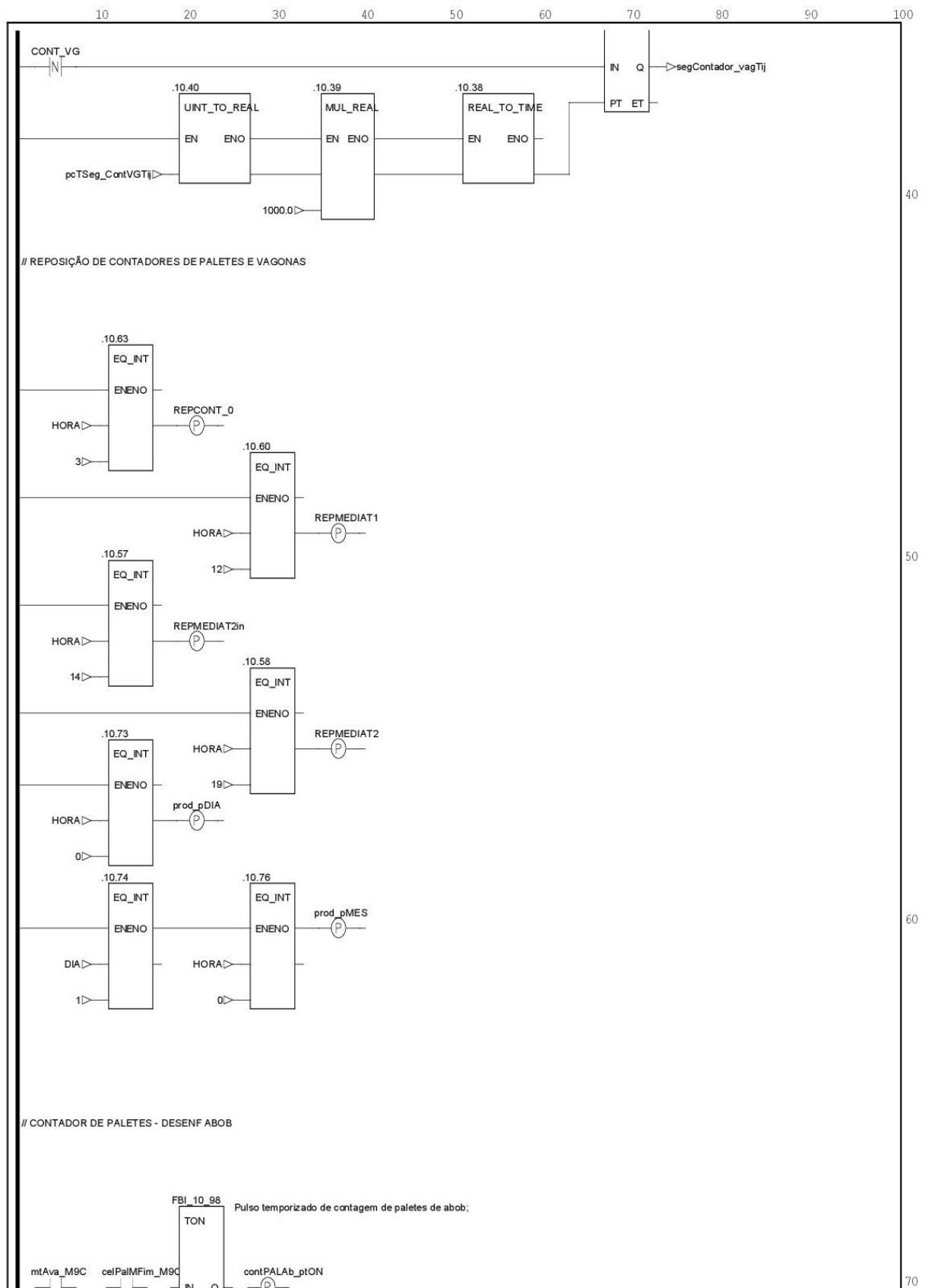
V.31 Controlo da produção (1)

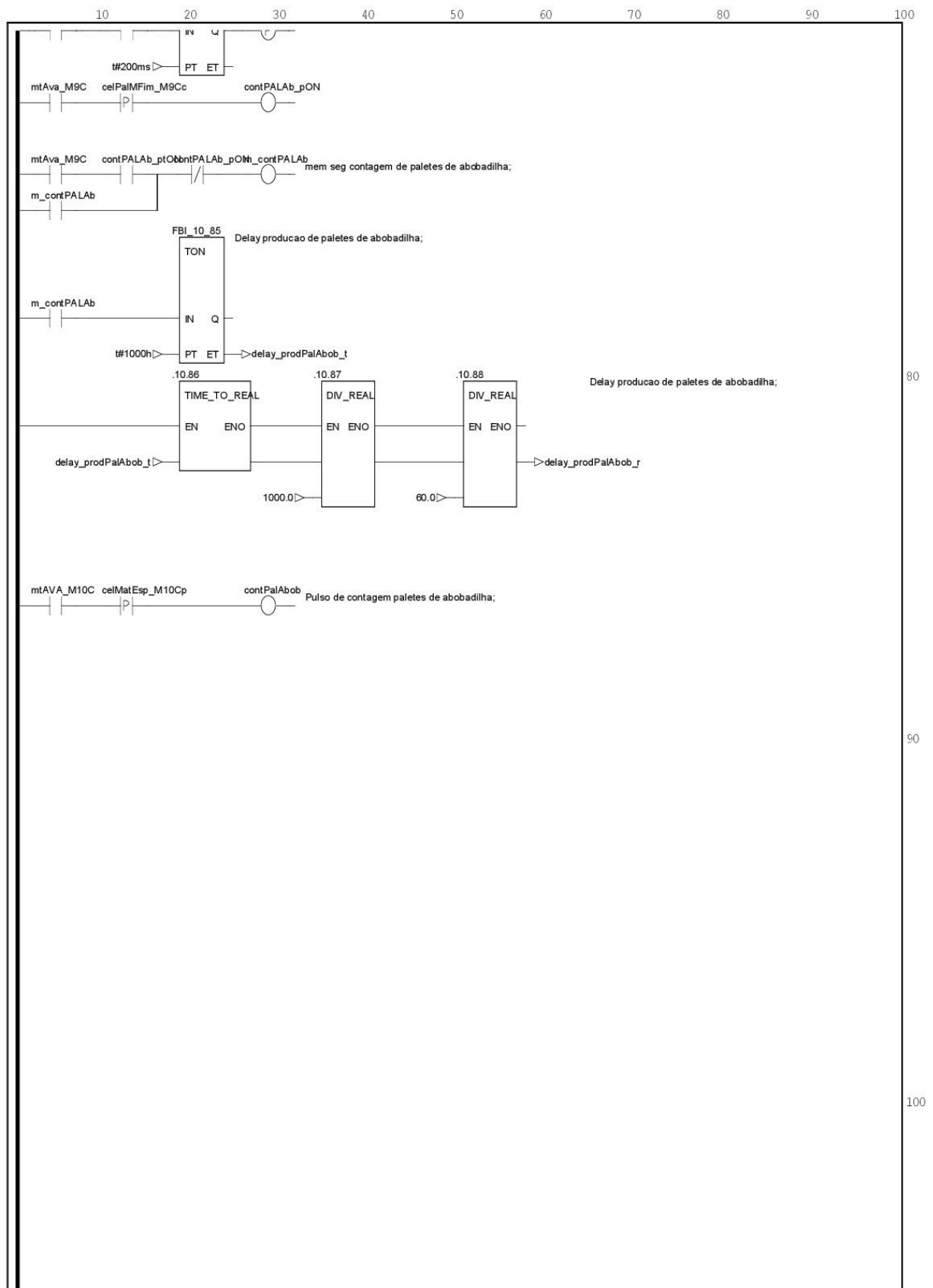
Graph of section ContProd1



> page 2

page: 1





V.32 Controlo da produção (2)

Listing of section ContProd2

```
»»»»»»»»»» Structured Text Start ««««««««««

(* CONTROLO DA PRODUÇÃO 2 *)

(* Calcula data em formato de 8 digitos - anomesdia - compatível com SQL *)
DATA := INT_TO_UDINT (IN := 2000 + ANO) * 10000 + (INT_TO_UDINT (IN := MES)) * 100 + INT_TO_UDINT (IN := DIA);

(* Atualizada a variável pMAT_VAR que guarda a produção do material em produção no momento *)
IF update_pMAT_VAR = 1 THEN
    pMAT_VAR := pMATd0[idmat];
END_IF;

(* Atualiza contadores de produção
    pTIJ_dX - contador apenas para tijolo;
    pAb_dX - contador apenas para abobadilha;
    pMATdX[idmat] - contador geral (array) para tijolo e abobadilha, dia X onde 0 é o dia atual *)
IF contPALtij = 1 THEN (* Pulso de contagem de Tijolo *)
    pTIJ_d0 := pTIJ_d0 + 1;
    idmat := idmatT;
    pMATd0[idmatT] := pMATd0[idmatT] + 1;
    pMATm0[idmatT] := pMATm0[idmatT] + 1;
    pd0 := pd0 + 1;
END_IF;
IF contPalAbob = 1 THEN (* Pulso de contagem de Abobadilha *)
    pAB_d0 := pAB_d0 + 1;
    idmat := pg01_idmat;
    pMATd0[pg01_idmat] := pMATd0[pg01_idmat] + 1;
    pMATm0[pg01_idmat] := pMATm0[pg01_idmat] + 1;
    pd0 := pd0 + 1;
END_IF;

CASE idmatT OF
1: matT := 0107;
2: matT := 0109;
3: matT := 0111;
4: matT := 0115;
5: matT := 0120;
END_CASE;

(* Reset e transf de registos de produção diários e mensais *)
IF (prod_pDIA = 1) THEN
    pMAT_VAR := 0; (* Coloca a 0 o valor da produção variável associado ao material em curso *)
    IF pRegProd = 0 THEN
        pRegProd := 1;
    ELSE
        pRegProd := 0;
    END_IF;
    i1 := 1;
    WHILE i1 < 32 DO
        pMATd7[i1] := pMATd6[i1];
        pMATd6[i1] := pMATd5[i1];
        pMATd5[i1] := pMATd4[i1];
        pMATd4[i1] := pMATd3[i1];
        pMATd3[i1] := pMATd2[i1];
        pMATd2[i1] := pMATd1[i1];
        pMATd1[i1] := pMATd0[i1];
        pMATd0[i1] := 0;
        i1 := i1 + 1;
    END WHILE;
END_IF;
IF (prod_pMES = 1) THEN
    IF pRegProd = 0 THEN
        pRegProd := 1;
    ELSE
        pRegProd := 0;
    END_IF;
    i1 := 1;
    WHILE i1 < 32 DO
        pMATm1[i1] := pMATm0[i1];
        pMATm0[i1] := 0;
        i1 := i1 + 1;
    END WHILE;
END_IF;

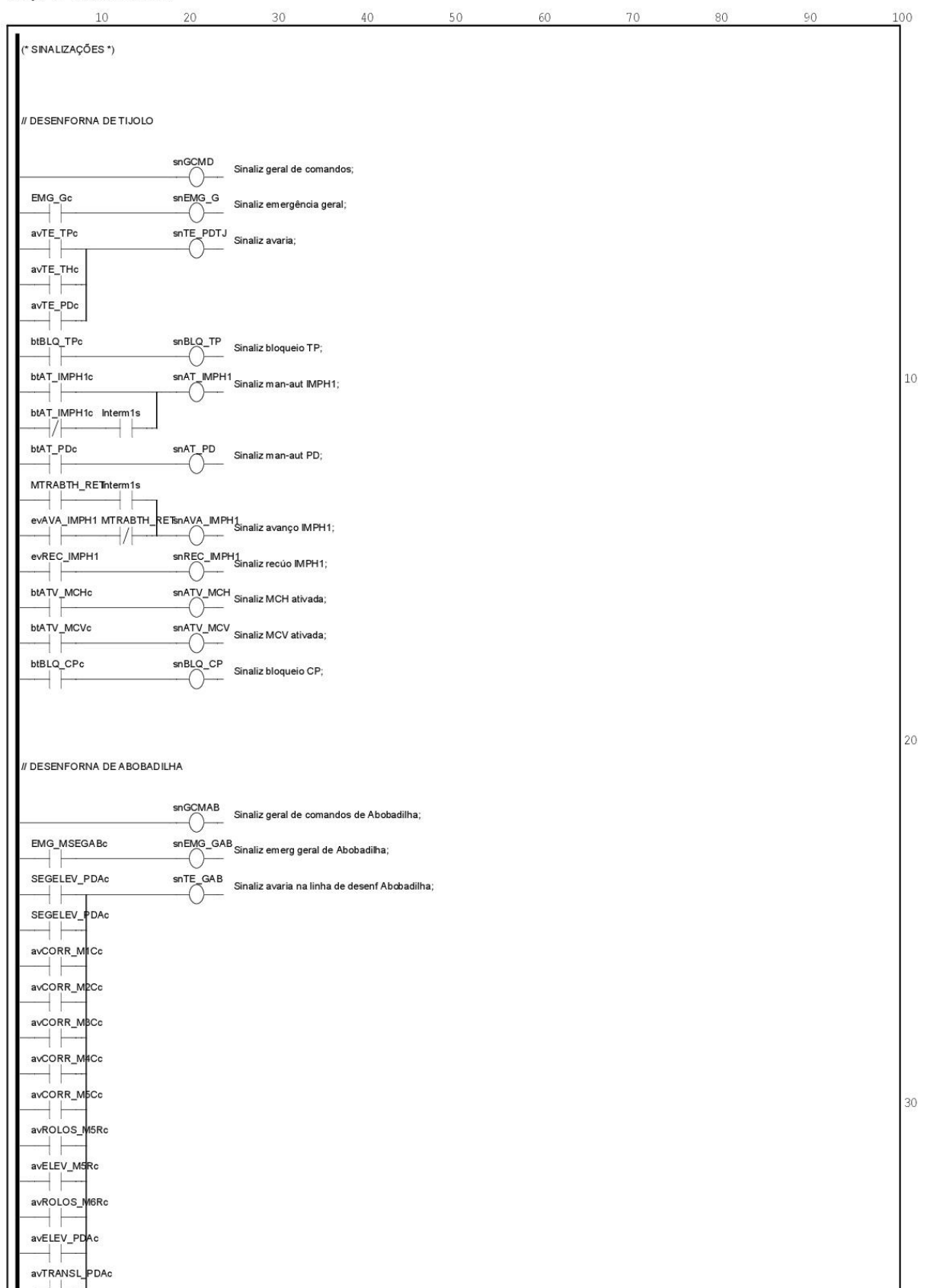
(* Reposição de contadores a zero *)
IF REPCONT_0 = 1 THEN
```

> page 2

page: 1

V.33 Sinalizações

Graph of section Sinaliz



ANEXO VI - DFBS UTILIZADOS (DERIVED FUNCTION BLOCKS)

VI.1 Intermitentes

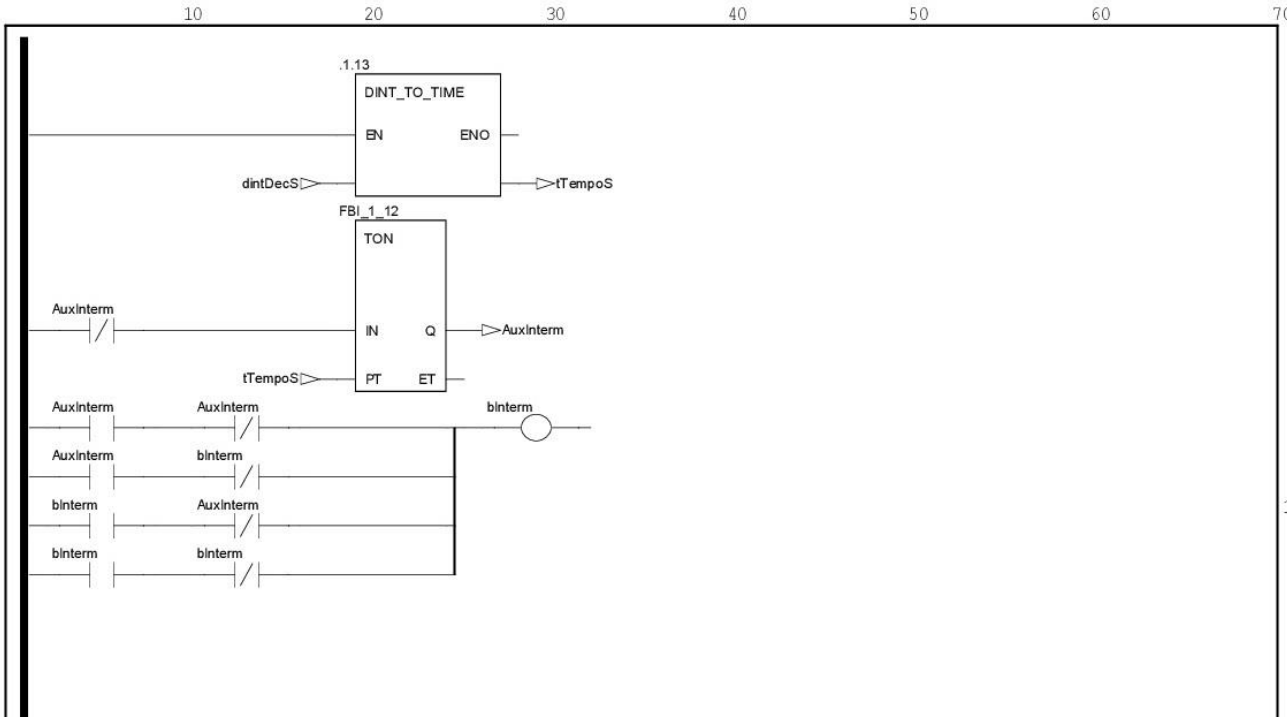
Schneider Automation Concept	Project INTERM	20.05.17
---------------------------------	-------------------	----------

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: name)					
Variable name	Type	DType	Initial value	Comment	Used
AuxInterm	VAR	BOOL			6
S1	IVAR	SECT_CTRL			0
tTempoS	VAR	TIME			2

Variable Input-/Output-list						
Variable name	Type	DType	Default-Value	Pos	Comment	Used
dintDecS	IN	DINT		1	decimos de segundos de intermitencia	1
bInterm	OUT	BOOL		1	saida intermitente	5

Schneider Automation Concept	Project INTERM	20.05.17
---------------------------------	-------------------	----------

Graph of section S1



VI.2 ONOFF1BIT

Schneider Automation Concept	Project ONOFF1BT	21.05.17
---------------------------------	---------------------	----------

Variable list (Name: All, Type: All, DataType: All, Sorted by: name)					
Variable name	Type	DType	Initial value	Comment	Used
mem	VAR	BOOL			3
OnOff	IVAR	SECT_CTRL			0

Variable Input-/Output-list						
Variable name	Type	DType	Default-Value	Pos	Comment	Used
bt	IN	BOOL		1		1
out	OUT	BOOL		1		3

Schneider Automation Concept	Project ONOFF1BT	21.05.17
---------------------------------	---------------------	----------

Graph of section OnOff

